

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

**Návrh bezkontaktního měření tvářecích nástrojů**  
**Non Contact Measuring Proposal of Forming Tools**

Student:  
Vedoucí bakalářské práce:

Bc. Radek Haas  
doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2011

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22. května 2011

.....  
Bc. Radek Haas

Prohlašuji, že

byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon – zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomovou práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnutou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 8. května 2011

.....  
Bc. Radek Haas

Radek Haas

Písařov 97

789 91 Štítý

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HAAS, R. *Návrh bezkontaktního měření tvářecích nástrojů*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 75 s. Diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem řešení v rámci procesu 3D digitalizace výrobního nářadí pro provoz lisovny plechových dílů firmy Klein & Blažek, s. r. o. Štíty. Zobecňuje pojem Reverse Engineering v konkrétní praktické podobě na příkladu postupového lisovacího nástroje v provozních podmínkách firmy pomocí skenovacího CAE systému ATOS II. Nabízí řešení v případě potřeby zajištění CAD dokumentace v okamžiku, kdy původní konstrukční dokumentace není k dispozici. Popisuje proces přípravy, vlastního měření, zahrnující nasnímání referenčních souřadnic, jejich převod na charakteristickou geometrii v podobě digitálního modelu objektu a následné zpracování v CAD/CAM systému. Tato práce se opírá o hardwarovou platformu CAE ATOS II a podporu SW Tebis. Poskytuje výsledky měření s ohledem na funkční stav nářadí, stavu opotřebení, technologické a výrobní zpracování nářadí. Nabízí koncepční a konstrukční návrh pro zvýšení parametru životnosti tohoto nástroje s ohledem na plánovanou výrobní produkci. Na základě této práce lze posoudit návratnost vynaložené investice na vyhotovení nové konstrukční dokumentace oproti vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu, v tomto případě samotného lisovacího nástroje.

Na základě ekonomického rozboru doporučuji nákup CAD/CAM systému Tebis a CAE systému ATOS II do firmy Klein & Blažek, s. r. o.

## ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

HAAS, R. *Non Contact Measuring Proposal of Forming Tools*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 70 s. Diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Diploma Thesis deals with the conceptional proposal of solution under the terms of process of 3D digitization of the means of production for press working of sheet

metal parts in firm Klein & Blažek, s. r. o. Štíty. It generalizes a conception of Reverse Engineering in concrete practical form by using a model of pretest pressing tool in operating conditions of the firm by using scan CAE systems ATOS II. It offers a solution in case of need of securing of CAD documentation at the moment when the original constructive documentation is not at disposal. It describes a process of preparation of measuring including scanning of the reference coordinates and their convert into characteristic geometry in the shape of the digital model of object and subsequent processing in CAD/CAM system. This work is grounded on hardware platform of CAE ATOS II and support of SW Tebis. It provides the results of measuring with respect to function state of tools, a state of wastage, technological and manufacturing processing of the tools. It offers conceptional and constructive proposal for increase of the parameter of the tool lifetime period with respect to the planned manufacturing production. On the basis of this work it is possible to judge recoverability of the expended investment for making a new constructive documentation than making technical documentation from prepared physical object, in this example the pressing tool itself. On the basis of economic analysis, I recommend the purchase of CAE system ATOS II for firm Klein & Blažek, s. r. o.

### **Poděkování**

Dovolte, abych poděkoval především vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a poskytnuté informace pro vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům VŠB – Technické univerzity Ostrava, Fakultě strojní, Katedře obrábění a montáže a Katedře mechanické technologie za odborný dohled a za čas následných obětovaným konzultací.

**Obsah****Strana**

<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Představení firmy Klein &amp; Blažek, s. r. o. ....</b>	<b>11</b>
1.1 Historie firmy.....	11
1.2 Výrobní program.....	12
1.3 Zavedené technologie .....	13
1.4 Zákazníci firmy Klein & Blažek, s. r. o.....	14
<b>2 Digitalizace .....</b>	<b>15</b>
2.1 Digitalizace, její princip a základní rozdělení.....	15
2.1.1 Dotykové skenery.....	16
2.1.2 Optické skenery.....	16
2.1.3 Laserové skenery.....	17
2.1.4 Destruktivní skenery.....	17
2.1.5 Rentgenové skenery .....	18
2.1.6 Ultrazvukové skenery .....	18
2.2 Porovnání obou způsobů měření.....	19
2.2.1 Výhody a nevýhody bezkontaktního způsobu měření .....	19
2.2.2 Výhody a nevýhody kontaktního způsobu měření.....	19
2.3 Zařízení pro digitalizaci.....	20
2.3.1 Optický digitální systém ATOS II .....	20
<b>3 Reverzní inženýrství.....</b>	<b>22</b>
3.1 Proces Reverse Engineering .....	22
3.1.1 Aktualizace CAD modelu .....	23
3.2 Software pro Reverse Engineering.....	24
3.2.1 Software Tebis .....	24
3.2.2 Nasazení SW Tebis ve výrobním procesu .....	25
3.3 Neefektivnost ve výrobě lisovacího nářadí.....	26
<b>4 Digitalizace kombinovaného nástroje.....</b>	<b>27</b>
4.1 Výrobní možnosti nástrojárny firmy Klein & Blažek, s. r. o.....	27
4.1.1 Strojní vybavení oddělení nástrojárny.....	27

4.1.2	Výrobní program nástrojárny.....	28
4.2	Obecná problematika výroby nářadí .....	29
4.2.1	Interní proces výroby nářadí .....	31
4.2.2	Nářadí vyráběné externí nástrojárnou .....	32
4.3	Podpora CNC obrábění.....	33
4.4	Opravy nářadí během výroby.....	35
4.5	Hodnocení problematiky výroby nářadí .....	36
4.6	Shrnutí vstupních informací.....	38
4.7	Návrh řešení .....	38
4.8	Prezentování výsledků digitalizace v ATOS Viewer .....	42
<b>5</b>	<b>Koncepce Reverse Engineering v podmínkách firmy Klein &amp; Blažek, s. r. o. ....</b>	<b>43</b>
5.1	Vstupní informace o projektu .....	43
5.2	Výchozí stav nářadí před vlastním měřením .....	46
5.3	Předpoklady a postup měření.....	47
5.4	Příprava a vlastní postup měření nástroje .....	48
5.5	Výsledky měření .....	52
5.5.1	Deformace funkčních tvarových ploch .....	52
5.5.2	Opotřebení vodících prvků .....	53
5.5.3	Nerovnoměrná funkční mezera.....	54
5.5.4	Kontrola symetrie tvarových ploch .....	55
5.5.5	Deformace ohybem hlavního rámu .....	56
5.5.6	Nejednotná výška hlavních dorazů .....	57
5.5.7	Kontrola polohy a uspořádání .....	58
5.5.8	Nevhodné koncepční uspořádání .....	59
5.5.9	Neexistence konstrukční dokumentace .....	62
<b>6</b>	<b>Diskuze nad výsledky .....</b>	<b>63</b>
6.1	Konstrukční řešení.....	64
6.2	Přínosy ATOS II a SW Tebis ve firmě Klein & Blažek, s. r. o. ....	64
<b>7</b>	<b>Technicko-ekonomické zhodnocení .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>71</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>74</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

2D	je zkratka výrazu „dvoudimenzionální“, označuje prostředí, které je možné popsat dvěma rozměry.
3D	je zkratka výrazu „trojdimenzionální“, označuje prostředí, které je možné popsat třemi rozměry.
ANSI	American National Standards Institute - americká instituce pro národní oborové standardy.
AutoCAD DXF	Drawing Exchange Format – exportní formát CAD souboru vyvinutý firmou Autodesk.
B-spline křivka	je aproximační křivka, používaná v CAD modelování ve 3D.
CAD	Computer Aided Design - 2D a 3D počítačové projektování.
CAE	Computer Aided Engineering - počítačem podporované konstruování - zkratka označující software (nebo obor) pro technické výpočty a navrhování (simulace, testování, analýzy MKP/FEM...).
CAM	Computer Aided Manufacturing - použití počítačového software pro programování výrobních CNC strojů a řízení výrobního procesu.
CCD	je elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace.
CCM	Coordinate Measuring Machines - klasický třísouřadnicový měřicí stroj používaný pro digitalizaci
CNC	Computer Numerical Control - řízení obráběcího stroje počítačem, resp. programem.
IGES	International Graphics Exchange Specification - výměnný souborový formát pro CAD data používaný ve strojírenství. Specifikován výborem ANSI.
NURBS	Non-uniform Rational B-Spline - metoda geometrického popisu volných ploch pro modelování složitých tvarů pomocí spline křivek.
PC	Osobní počítač (z anglického Personal Computer).
Reverse Engineering	zahrnuje procesy, při nichž dochází k vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu.
STEP	(STandard for Exchange of Product model data) - Výměnný souborový formát pro 3D CAD data používaný ve strojírenství. Specifikován americkým institutem NIST, ISO 10303.
STL	Standard Template Library.
USS	Uživatelský Souřadný Systém (UCS) - změněný systém souřadnic.

VRML	Virtual Reality Modeling Language - je grafický formát založený na deklarativním programovacím jazyce, který byl navržen především pro popis trojrozměrných scén obsahujících aktivní i pasivní objekty, použité například v aplikacích virtuální reality.
apod.	a podobně.
cm	Centimetr - je délková jednotka, $10^{-2}$ neboli 1 setina metru.
mm	Milimetr - je délková jednotka, $10^{-3}$ neboli 1 tisícina metru.
popř.	popřípadě
tzv.	tak zvaný

## Úvod

Rostoucí náklady na vývoj v jednotlivých odvětvích strojírenského průmyslu způsobují, že inovační metody, které přispívají k jejich snižování, získávají stále vyšší důležitost. Zvláštní důraz je kladen na zvyšování kvality produktů a snižování času s ohledem na vývoj a na minimalizaci vývojových cyklů. Za tímto účelem se využívají komplexní měřicí technologie.

Na začátku práce je v krátkosti popsána historie firmy Klein & Blažek a také její současný stav, některé důležité hospodářské výsledky této společnosti. V teoretické části se zaměřuje na vysvětlení pojmu digitalizace, což je disciplína z oboru reverzního inženýrství. Poskytuje náhled na problematiku v současné době používaných bezkontaktních měřících přístrojů, shrnuje jejich výhody a nevýhody při měření a diagnostice ve výrobních provozech lisoven plechových dílů se zvláštním zaměřením na výrobní nářadí. Shrnutí těchto vlastností 3D skenerů vychází ze zkušeností dříve používaných kontaktních metod měření. Bezdotykové (bezkontaktní) snímací systémy nevyžadují ke své funkci hmotný dotyk s povrchem součásti. Měřicí zařízení pro bezkontaktní měření pracují na optickém nebo laserovém principu. Díky technologii nazývané 3D digitalizace je možné převést 3-rozměrný reálný objekt do digitální podoby. Zařízení, která tento převod umožní se nazývají 3D skenery. Digitalizace šetří čas a zvyšuje produktivitu během celého výrobního řetězce.

Dále pak diskutovanou problematikou je proces Reverse Engineering. Reverzní inženýrství zahrnuje procesy, při nichž dochází k vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu. Za tímto účelem je v této části věnovaná pozornost softwarovému řešení v podobě modulu Tebis německé firmy GOM mbH. Tato aplikace umožňuje rekonstrukci ploch nástrojů z digitalizovaných dat, optimalizuje model z hlediska průběhu křivosti ploch a křivostního napojení sousedních ploch. V oblasti konstrukce lisovacího nářadí je tento modul schopen upravit lisovací plochy tak, aby se snížil vliv odpružení plechového dílu. Na konci tohoto bloku jsou shrnuty důvody, které vedou k neefektivní produkci lisovacích nástrojů a prodražují výrobu a tak snižují zisk nástrojářen. Po této analýze jsou zde prezentovány možnosti využití systému Tebis v procesu výroby nářadí.

Cílem této diplomové práce je stanovit koncepční návrh řešení v rámci procesu 3D digitalizace a reverzního inženýrství pro potřebu zhotovení konstrukční dokumentace výrobního nářadí pro provoz lisovny plechových dílů firmy Klein & Blažek, s. r. o. pomocí CAE systému ATOS II se softwarem Tebis. V praktické části se tato práce zabývá konkrétním využitím digitalizace a reverzního inženýrství jakožto jedinečného prostředku zpětné reprodukce rozměru a tvaru u součástí, ke kterým neexistuje výkresová či digitální dokumentace. Na konkrétním příkladu lisovacího postupového nástroje bude tento proces a samotný postup opětovného vyhotovení dokumentace důkladně objasněn. Za tímto účelem je zde prezentován postupový lisovací nástroj z produkční nářadové základny firmy Klein & Blažek, s. r. o. Štítý. Tento nástroj nebyl vyroben ve firmě Klein & Blažek, s. r. o. a byl předán zákazníkem do užívání bez jakékoli konstrukční dokumentace. S ohledem na jeho fyzický stav souvisejícím s překročením parametru životnosti tvarových ploch bylo zákazníkem rozhodnuto o jeho celkové funkční obnově.

Ve spojení s moderními CAD systémy umožňuje digitalizace a reverzní inženýrství nejen klasické kontrolní činnosti na úrovni kontroly jakosti, ale přináší také možnost preventivního předcházení problémům ve výrobním a technologickém procesu. V celém výrobním řetězci při produkci složitých tvarových ploch je možné díky digitalizaci docílit značných časových i technologických úspor. Na tomto konkrétním příkladě je zde prezentováno konstrukční řešení, které umožňuje zvýšit životnost a plánovanou údržbu tohoto nástroje s ohledem na stanovenou výrobní produkci. Samotný návrh koncepčního řešení na základě CAE systému ATOS II se softwarem TEBIS, které bude vzájemně spojovat výhody nasazení této aplikace v rámci potřeb oddělení konstrukce, nástrojárny, výroby a v neposlední řadě i oddělení kvality. V závěru práce je také uvedeno technickoekonomické zhodnocení celého projektu. Toto koncepční řešení je přímo uzpůsobeno pro podmínky firmy Klein & Blažek s. r. o. a zhodnocuje návratnost vynaložené investice na pořízení CAD/CAM systému Tebis do firmy Klein & Blažek, s. r. o.

Pro naplňování cílů politiky jakosti, přijatých pro zajištění rozvoje společnosti, investuje společnost Klein & Blažek, s. r. o. značné finanční prostředky na zavádění nových moderních technologií pro zlepšování efektivity výroby s ohledem na šetrný přístup k životnímu prostředí a plnění zákonných požadavků.

## **1 Představení firmy Klein & Blažek, s. r. o.**

### **1.1 Historie firmy**

Firma Klein&Blažek je více než 40 let dodavatelem kovových dílů pro sériovou výrobu automobilů. Firma sídlí na severní Moravě blízko hranice České republiky s Polskem v malém městečku Štítý. Historie firmy však začíná již v roce 1958, kdy firma nesla název JESAN a za účelem zprůmyslnění pohraničí, byl vykonán převod výroby domovních zvonků a dětských hraček z Olomouce do Štítů. V roce 1970 byla dokončena výstavba nových výrobních prostor a v této době došlo také k prvním kontaktům s automobilovými závody Škoda Mladá Boleslav. Firma začala dodávat součásti ovládacích prvků vozů. Od této chvíle se společnost Škoda stala největším zákazníkem firmy a tento stav trvá dodnes. V roce 1994 došlo k privatizaci firmy JESAN na Klein&Blažek. V této době měla firma asi 150 až 200 zaměstnanců a obrat společnosti činil asi 120 milionů korun. Společnost Klein & Blažek spol. s r.o. se vyprofilovala jako osvědčený a spolehlivý dodavatel většinou jednotlivých kovových lisovaných a obráběných, technicky náročných dílů s vysokou sériovostí pro zákazníky z automobilového průmyslu. Tradiční výroba drobných elektrotechnických výrobků (zvonků, gongů, transformátorků a jiných) zůstává dodnes zachována.

Kvalita výroby má základ v zavedeném a stále zdokonalovaném integrovaném systému managementu, který je organizován podle normy ISO TS 16949. Systém jakosti je zákazníky hodnocen pravidelnými audity a podnik věnuje rozvoji tohoto systému velké úsilí a finanční prostředky.

Osobním cílem obou společníků bylo a stále je dosažení trvalé prosperity firmy, upevnění jejího dobrého jména jak díky kvalitě výroby, tak i spolehlivostí vztahů se zákazníky a dodavateli. Strategickým záměrem společníků je trvalé zvyšování hodnoty společnosti. Z tohoto důvodu dávají společníci přednost maximálnímu reinvestování vytvořeného zisku.

V současné době pracuje ve firmě Klein & Blažek, s. r. o. 630 zaměstnanců, ve dvou závodech (obr.1.1), na ploše přibližně 23 500 m<sup>2</sup>. Obrat firmy v roce 2010 činil 840 000 000 Kč.



a)

b)

Obr. 1.1 Výrobní závody firmy Klein &amp; Blažek, s. r. o.

(a – závod 1, b – závod 2)

## 1.2 Výrobní program

Firma Klein & Blažek, s. r. o. je dodavatelem součástí především pro automobilový průmysl. Tyto součásti tvoří 90 % celkové produkce firmy Klein & Blažek, s. r. o. Zbylá produkce putuje do průmyslu stavebního či elektrotechnického.

### Typické výrobky:

- Výlisky z postupových, kombinovaných, tažných a tvářecích nástrojů.
- Rámy dveří a lišty z válcovaných profilů.
- Obráběné díly do motorů a převodovek např. řemenice, rozvodové soukolí.
- Opracovávání výfukového potrubí na speciálních obráběcích strojích.
- Obráběné hliníkové díly pro klimatizaci.
- Svařované díly – tažná oka, držáky výfuku, díly karoserie, výlisky s navařenými a nalisovanými maticemi a šrouby.
- Montáž podsestav.
- Tepelné zpracování kovů.
- Drobné elektrické výrobky – zvonky, gongy, bzučáky, transformátorky.

### 1.3 Zavedené technologie

#### Lisovna plechových dílů:

Firma Klein & Blažek, s. r. o. v závodě 1 viz. (obr.1.1 a) se zabývá lisováním součástí s následujícími technickými parametry:

- lisování na hydraulických a excentrických lisech od 10 do 630 tun, maximální velikost stolu 4000 x 1800 mm,
- lisování plechů do tloušťky 5 mm, šířky svitku 1000 mm,

Fotografie lisovny firmy Klein & Blažek, s. r. o. viz příloha A1.1

#### Obrábění kovových materiálů:

Firma Klein & Blažek, s. r. o. se zabývá obráběním součástí s následujícími technickými parametry:

- obráběním rotačních dílů do průměru 65 mm z tyčí, trubek, odlitků a výkovků všech jakostí materiálu,
- broušením těchto součástí,
- frézováním profilů, výkovků a odlitků,

Fotografie obrobny firmy Klein & Blažek, s. r. o. viz příloha A1.2

#### Svařování:

Firma Klein & Blažek, s. r. o. svařuje:

- kontinuálním a bodovým svařováním s dokumentací procesu,
- svařované díly: tažná oka, držáky výfuku, díly karoserie, výlisky s navařenými maticemi a šrouby,

#### Tepelné zpracování:

Vlastní kalicí linka SOLO CTB 202-40/40/60 viz příloha A1.3 pro tepelné zpracování v ochranné atmosféře. Klein & Blažek, s. r. o. provádí zušlechťování, kalení do oleje, žíhání, popouštění, cementaci, nitrocementaci.

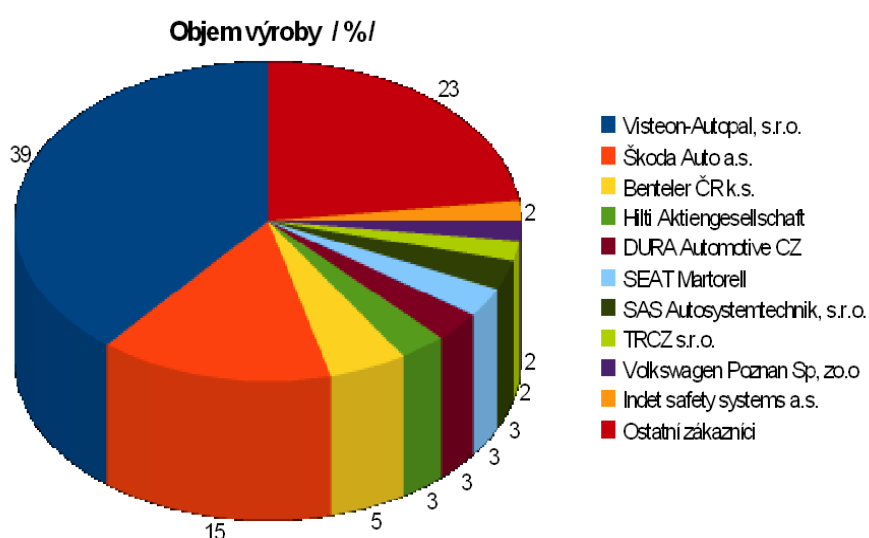
### Montážní práce:

Firma Klein & Blažek, s. r. o. se zabývá montáží sestav a podsestav pro koncové zákazníky. Jedná se především o:

- kompletní montáž nosičů žárovek pro zadní svítlny, s možností vývoje designu nosiče a realizace potřebného technologického zařízení,
- montáž okenních kování,
- montáž domovních zvonků.

## 1.4 Zákazníci firmy Klein & Blažek, s. r. o.

Hlavními zákazníky firmy Klein & Blažek, s. r. o. jsou:



Obr. 1.2 Podíl zákazníků firmy Klein & Blažek, s. r. o.



## 2 Digitalizace

### 2.1 Digitalizace, její princip a základní rozdělení

Digitalizací se rozumí trojrozměrná numerizace, která poskytuje komplexní řešení pro různá použití, jako je například inspekce, numerická rekonstrukce 3D z fyzického předmětu, povrchová kontrola nebo rychlá výroba prototypů. Zavedením digitalizace do všech sfér průmyslu došlo k úspoře času a zvýšení produktivity během celého výrobního řetězce s ohledem na vysokou kvalitu výstupů. Tyto moderní technologie přinášejí vysokou kvalitu při kontrole jakosti a proto nalézají své uplatnění v mnoha výrobních sektorech, jako je automobilový, letecký nebo lodní průmysl, medicína či průmyslový design apod.

Na monitoru pracovní stanice je možné v reálném čase sledovat kontinuální prezentaci snímané geometrie pořízenou z prostorových souřadnic bodů z povrchu snímané součásti. Tyto referenční značky jsou snímány prostřednictvím snímacích systémů připojitelných k trojrozměrnému měřicímu stroji, k obráběcímu stroji řízenému numerickým ovladačem, k mobilnímu měřicímu stroji atd. Digitalizace zahrnuje nasnímání prostorových souřadnic objektu, zpracování naměřených dat a jejich převod na plošnou nebo objemovou interpretaci v podobě digitálního modelu objektu. Digitalizace je disciplínou z oboru reverzního inženýrství.

Princip většiny těchto zařízení je založen na snímání povrchu objektu v diskrétních bodech, z čehož vyplývá, že zdigitalizovaný objekt je v počítači prezentován jako velký počet bodů v prostoru (tzv. mrak bodů). Skenery se od sebe liší hlavně tím, jakým způsobem dochází ke snímání bodů povrchu objektu. Podle způsobu snímání bodů je lze rozdělit na:

- dotykové
- optické
- laserové
- destruktivní
- rentgenové
- ultrazvukové

### 2.1.1 Dotykové skenery

Princip toho zařízení spočívá v tom, že skenovaný objekt fyzicky "osaháme" hrotem, který je zavěšený na mechanickém rameni. Rameno má v každém kloubu senzor zaznamenávající natočení ramene v tomto místě. Poloha skenovaného bodu se získá vyhodnocením údajů ze všech kloubů ramene. Před vlastním skenováním je vhodné vyznačit na povrchu skenovaného objektu body, které slouží k vytvoření přesného digitálního obrazu. Počet těchto bodů závisí na složitosti tělesa a požadované přesnosti.

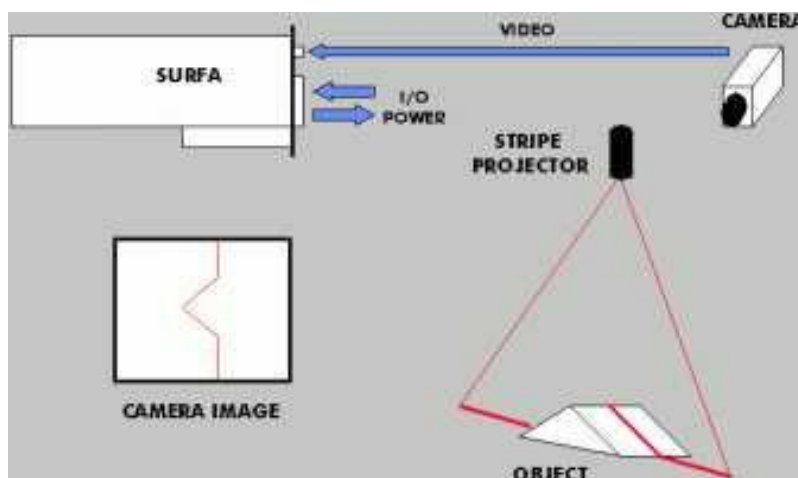
Další variantou této metody kontaktního skenování je skenování pomocí zařízení, které je konstrukčně založeno na principu frézky s inverzním tokem dat. Místo obráběcího nástroje je v zařízení upnuta snímací sonda. Tato sonda je v přímém kontaktu se snímanou plochou a její pohyb se přes přidruženou elektroniku převádí na prostorová data příslušného CAD systému. Rozšířeným způsobem v běžné praxi je také použití klasické NC frézky, která má snímací sondu pouze jako přídatné zařízení, pro větší objemy dat je však vhodnější použít samostatné zařízení určené speciálně pouze pro digitalizaci.

### 2.1.2 Optické skenery

Tyto skenery snímají skenovaný objekt z několika úhlů pomocí optického zařízení. Při každém natočení, které se provede buď ručně, nebo pomocí polohovacího zařízení, se objekt v podstatě vyfotí a data se odešlou do počítače. Po získání snímků ze všech úhlů pohledu se data zpracují a digitalizovaný model se vytvoří metodou aproximace. Většina skenerů umožňuje vytvářet počítačové modely využitím nasnímaných bodů, polygonů, volných křivek nebo jiných standardních geometrických entit. Před vlastním skenováním je vhodné na tělese vyznačit několik referenčních bodů pro přesnější sestavení obrázků v 3D těleso. Používají se tzv. centrovací terčíky, které se umístí na skenovaném objektu - jejich počet může být i několik tisíc. Součástí snímků bodů musí být i kalibrační tyč, položená vedle měřeného předmětu.

### 2.1.3 Laserové skenery

Princip skenování spočívá v tom, že se kolmo proti předmětu vyšle laserový paprsek, který se od něj odrazí a vrátí se zpět do skenovacího zařízení, kde se vyhodnotí, viz. (obr.2.1). Vyhodnocením doby, která uplyne od vyslání do vrácení paprsku, získáme informaci o rozměru předmětu ve směru letu paprsku. Informace o zakřivení povrchu plyne z úhlu, pod jakým se paprsek vrátí zpět do zařízení. Spojením obou základních informací skener získá přesnou polohu bodu, kterou odešle do počítače. Tímto způsobem skener laserovým paprskem obsáhne celé těleso, popř. těleso se otáčí a skenovací zařízení stojí. Kvalita zdigitalizovaného tělesa je dána hustotou, s jakou laserový paprsek pokryl plochu reálného tělesa. Výstupem je soubor dat o polygonech definujících geometrii povrchu tělesa. Obvykle bývá součástí zařízení i barevná kamera, která rovnou při skenování snímá barevnou informaci (stejný princip jako optické skenery). Výsledný objekt tedy bude nejen přesnou geometrickou napodobeninou, ale bude mít i stejnou texturu.



Obr. 2.1 Princip laserových skenerů

### 2.1.4 Destruktivní skenery

Jedná se o zařízení, které má schopnost digitalizovat jak vnější povrch součásti, tak i vnitřní geometrii. Digitalizovaný objekt ale bude při použití této metody zničen. Uplatnění nalezne zejména v oblasti Reverse Engineeringu při digitalizaci součástí se složitou vnitřní geometrií.

Před procesem digitalizace je skenovaná součást umístěna na nastavitelný rám a pokryta speciálním materiálem, který při zpracování naskenovaných snímků poskytne vysoký kontrast mezi součástí a výplňovým materiálem. Poté se z prostoru vyčerpá vzduch a vznikne vakuum, které způsobí, že se tento speciální materiál dostane do všech dutin součástí. Takto připravený blok se přemístí do skenovacího zařízení, kde se připevní ke frézovacímu stolu. Vlastní skenování proběhne v okamžiku odfrézování velmi tenké vrstvy materiálu z bloku. Každý takto nově vzniklý povrch se naskenuje použitím optického skeneru a získaná data se odešlou k dalšímu softwarovému zpracování.

### **2.1.5 Rentgenové skenery**

Použití tohoto typu zařízení umožní získávání informací o vnitřní geometrii součástí použitím rentgenového záření o vyšší intenzitě. Jde o nedestruktivní metodu digitalizace. Zařízení jsou většinou mobilní a používají se např. ke kontrole potrubí, kotlů nebo jiných uzavřených nádob.

### **2.1.6 Ultrazvukové skenery**

Tento způsob 3D digitalizace pracuje na principu bezkontaktního snímání povrchu objektu ultrazvukovou sondou. Jedná se o jedno z cenově nejméně náročných řešení problematiky prostorového snímání povrchů. Skenování je prováděno manuálně ultrazvukovou sondou tvaru pistole s kovovým hrotem, který přikládáme ke skenovanému povrchu, kdy stiskem spouště dojde k vyslání ultrazvukového signálu. Tento signál je pomocí speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekodován do prostorových souřadnic. Nevýhodou zařízení je jeho relativně malá přesnost, která se pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,5 mm.

## **2.2 Porovnání obou způsobů měření**

### **2.2.1 Výhody a nevýhody bezkontaktního způsobu měření**

#### **Výhody:**

- menší počet ztracených datových bodů se projevuje vyšší integritou výsledků měření povrchu,
- mobilita celého zařízení,
- flexibilita ve velikosti a hmotnosti měřeného objektu
- vysoké rozlišení (až 66 bodů na 1 mm)
- 3D digitalizaci je možné zhotovit i na měřeném objektu v různém stavu
- rychlost a vysoká hustota skenovaných dat, komplexní analýza tvaru
- možnost měření v nedostupných místech měřeného objektu (dutiny – měření rentgenem, ultrazvukem)

#### **Nevýhody:**

- omezená šířka pásma dat v závislosti na velikosti vertikálního rozsahu detektoru,
- problematika "ztráty dat", a to v hraničních oblastech (na hranách) nebo v místech náhlých a rychlých změn tvaru profilu povrchu,
- náročnější příprava pře vlasním měřením z důvodu odrazivosti kontrolovaného povrchu

### **2.2.2 Výhody a nevýhody kontaktního způsobu měření**

#### **Výhody:**

- větší toleranci vůči znečištění měřené součásti,
- komplexní měření na jedno upnutí měřeného objektu

#### **Nevýhody:**

- velké rozměrové rozdíly profilu povrchu znemožňují použití snímacího hrotu,
- nemožnost měření technických materiálů (textil, pryž atd.)
- velká časová náročnost na zhotovení kontrolního programu pro sériové měření

## 2.3 Zařízení pro digitalizaci

Nejčastěji používaným strojem pro digitalizaci je klasický třísouřadnicový měřicí stroj označovaný jako CMM - Coordinate Measuring Machines. Jeho častější použití je zapříčiněno především jeho dalším využitím pro kontrolu jakosti strojních součástí v podniku. Dalším příkladem je speciálně navržený digitalizační stroj stolového typu, jehož konstrukce vychází z CMM, ale je přizpůsoben pouze pro digitalizaci součástí. Méně obvyklým zařízením je nasazení robotu jako stroje pro digitalizaci. Tento způsob je častější u vysokosériové digitalizace, především v automobilovém průmyslu. Obvyklým zástupcem strojů pro digitalizaci je klasické obráběcí centrum, které je dovybaveno snímací sondou, upnutou do vřetena stroje. Posledním představitelem stroje pro digitalizaci je speciálně navržené rameno s odměřovatelnými klouby. Je také cenově nejdostupnější, avšak méně přesné než ostatní typy strojů.

### 2.3.1 Optický digitální systém ATOS II

V současné době je firma GOM na špici vývoje a nabízí hned několik typů 3D optických měřicích zařízení. Nejnovější 3D skener nese označení Atos II. Zařízení Atos II je nabízeno v několika provedeních podle velikosti skenovaných objektů, viz příloha A2.1 Systém se skládá z digitální kamery, výkonné pracovní stanice, stativu, samolepících značek a kalibrační tyče, viz. (obr.2.2). Princip měření je založen na optické triangulaci a metodě projekce pruhů světla (Fringe projection). Pro nejmenší objekty (od 10mm) je určen Atos II SO, pro měření větších objektů Atos II 400, 600 nebo 800. Přesnost měření je závislá na velikosti skenovaného objektu, standardně se pohybuje okolo 0,01mm. Vlastní digitalizace je velice rychlá, protože 1 snímek trvá přibližně 8 sekund, přičemž je možné nasnímat povrch o rozměrech až 1200x960mm s hustotou 1,3 milionu bodů. Dalšího zpřesnění digitalizace se dosáhne kombinací zařízení ATOS II a Tritop. Kombinace těchto dvou zařízení se nazývá ATOS II XL (obr.2.3). Tritop je fotogrammetrické měřicí zařízení, které na základě několika snímků spočítá 3D souřadnice referenčních značek umístěných na měřeném objektu. Tyto se pak importují do systému ATOS, kde jsou použity pro skládání jednotlivých záběrů do společného souřadného systému. Přesnost digitalizace systému ATOS II XL se pohybuje řádově v setinách milimetru. Mezi výhody optických skenerů patří hlavně mobilita, flexibilita, rychlost měření, přesnost a vysoká hustota bodů. Toto zařízení s

objemem  $600\text{mm}^3$  bylo použito pro skenování postupového nástroje, více podrobností je uvedeno v praktické části této práce.



Obr. 2.2 Ukázka práce s optickým skenerem ATOS II



a)



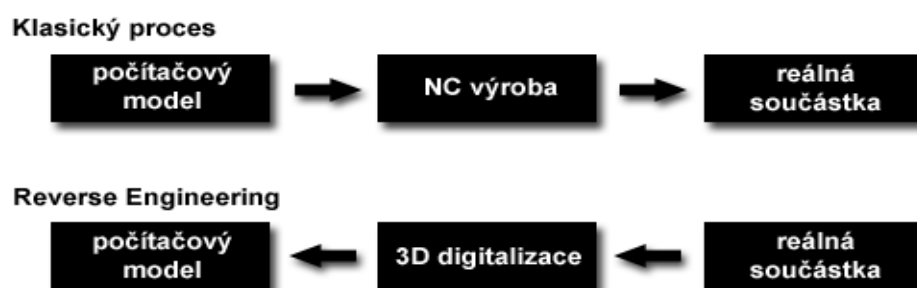
b)

Obr. 2.3 Tritop – fotogrammetrické měřicí zařízení  
(a – sestava mobilního měřicího zařízení , b – speciální značky )

### 3 Reverzní inženýrství

#### 3.1 Proces Reverse Engineering

Reverzní inženýrství (Reverse Engineering) zahrnuje procesy, při nichž dochází k vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu. Podstatou je tento proces přesně opačný, na začátku je reálná součástka a ta se převádí do digitální podoby viz. (obr.3.1).



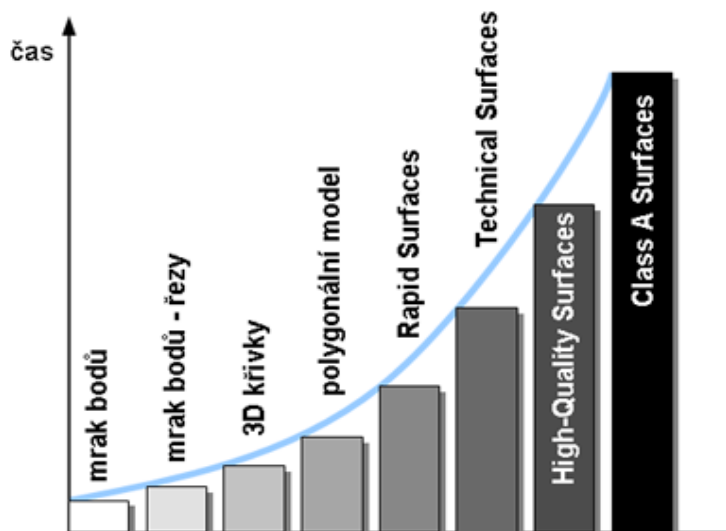
Obr. 3.1 Grafické znázornění procesů

Fáze převodu reálné součásti do digitální podoby se nazývá 3D digitalizace, nebo také měření či skenování, a zařízení k tomu potřebné 3D skener, 3D měřicí zařízení nebo digitizér.

**Počítačový model může mít několik podob, viz. (obr.3.2):**

- mrak bodů
- řezy geometrie v požadovaných místech
- 3D křivky v požadovaných místech
- polygonální model
- plošný model v podobě (Rapid Surfaces, Technical Surfaces, Class A Surfaces)



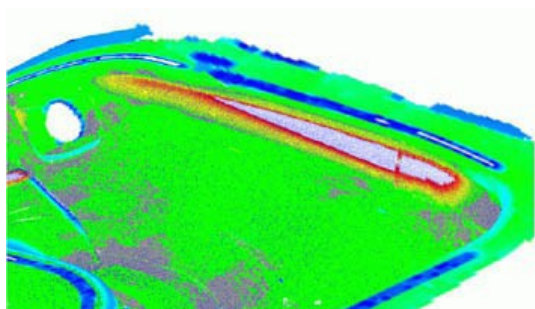


Obr. 3.2 Digitalizované počítačové modely

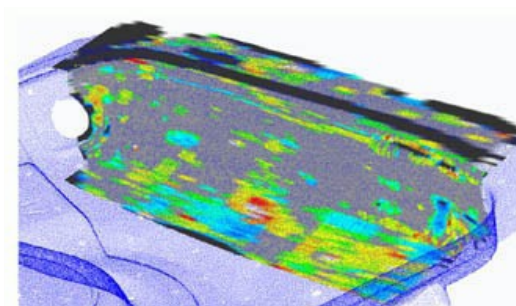
Jednotlivé typy plošných modelů se od sebe liší přesností, hladkostí a napojením ploch. V praxi jsou nejčastěji požadovány polygonální modely a plošné modely v kvalitě Technical Surfaces (tečné napojení, odchylka od mraku bodů 0,15mm).

### 3.1.1 Aktualizace CAD modelu

U nástrojů pro lisování plechů či vstřikování plastů mohou nastat problémy s přesností finálního výrobku. Je to způsobeno buď technologickým procesem nebo chybami při výrobě formy. V takových případech se forma ručně upravuje a doladuje, aby se minimalizovala zmetkovitost výroby. Jelikož nářadí bývá velmi často určeno pro sériovou výrobu a má-li být materiál funkčních částí nářadí homogenní, je potřeba aktualizovat původní CAD dokumentaci, zhotovit nový CNC kód a přepracovat stávající tvarové části nářadí. Při malých změnách tvaru lze původní CAD model "přilepit" na novou (naskenovanou) geometrii se zachováním rozložení a návaznosti ploch. Při velkých změnách se rekonstruuje plochy nebo vytváří polygonální model. Výhodnější je použití polygonálního modelu, protože je transformace výrobní dokumentace rychlejší a kvalitní CAM softwary dokáží obrábět i kombinované CAD modely složené z ploch, polygonů či mraku bodů, viz. (obr.3.3).



a)



b)

Obr. 3.3 Část tvarové plochy před a po úpravě – odchylky od skenu  
(a – CAD geometrie před úpravou tvaru , b – CAD geometrie po úpravě tvaru )

## 3.2 Software pro Reverse Engineering

Do skupiny pro High End CAD/CAM aplikací lze zařadit SW Tebis německé firmy GOM mbH. Systém je určen pro nejnáročnější strojírenské oblasti jako je automobilový nebo letecký průmysl. Výstupem může být jakákoliv podoba počítačového modelu od polygonální sítě přes 3D křivky až po nejkvalitnější designové plochy (Class A). Aby byl konečný model co nejlepší, jsou k dispozici nejrůznější analýzy ploch a křivek.

### 3.2.1 Software Tebis

Tebis je komplexní CAD/CAM systém, který nabízí modulární řešení pro vývoj a výrobu součástí, modelů, forem a nástrojů, jejich elektrod na různých úrovních jejich zpracování. Získaná data jsou porovnávána s CAD modelem a hodnocena na úrovni kontroly kvality. Jednotlivé moduly jsou znázorněny v příloze A3.1

**Základní SW moduly:**

**Tebis BASE** – vytváří a modifikuje drátové modely, poskytuje grafické rozhraní systému. Obsahuje výkoné analytické funkce a dokumentační funkce.

**Tebis RSC** (Rapid Surface Creation) – poskytuje úplný soubor funkcí pro tvorbu povrchové geometrie, viz. příloha A3.2. Využívá se při rekonstrukci ploch nástrojů z digitalizovaných dat.

**Tebis OPTIMIZER** - rozšiřuje možnosti již dodávaného modulu Tebis RSC. OPTIMIZER rozšiřuje možnosti modulu RSC v oblasti vytváření kvalitních ploch (High Quality Surfaces). Optimalizuje model z hlediska průběhu křivosti ploch a křivostního napojení sousedních ploch.

**Tebis MORPHING** – používá se v oblasti konstrukce lisovacího nářadí. Je schopen upravit lisovací plochy tak, aby se snížil vliv odpružení plechového dílu. Tento modul zpracovává informace ze simulačního programu (výpočet odpružení nebo výpočet kompenzace), nebo může zpracovávat informace z měření reálného odpružení po zkoušce lisování. Na základě těchto informací změní CAD model lisovacích ploch tak, aby se eliminovalo odpružení plechového dílu.

**Tebis CAD INTERFACES** – poskytuje nabídku přímých CAD převodníků umožňující výměnu dat oběma směry např. SW Catia, Unigraphics, Pro/Engineer, SolidWorks a dále formáty IGES, DXL, STL atd.

### **3.2.2 Nasazení SW Tebis ve výrobním procesu**

Systém Tebis v oblasti CAM pracuje s hybridními daty pro tříosé nebo pětiosé frézování, 2,5D vrtání a laserové řezání. Tebis je schopen vytvořenou a upravenou polygonální síť přesně navázat na plošný model. Takto vytvořený hybridní model lze v Tebisu velice efektivně obrábět, bez nutnosti dodatečných konverzí polygonální sítě. Systém vypočte NC programy na bázi sítí a také hybridních modelů. Vysoce kvalitní simulační technologie zlepšuje proces spolehlivosti a minimalizuje dobu výroby. Tebis využívá při rozeznávání obráběných prvků (díry, závity, kapsy,...) barevnou tabulku, která reprezentuje určité konstrukční prvky. Těmto prvkům je posléze přiřazen

technologický postup obrábění, který je uložen v knihovnách a uchovává výrobní znalosti společnosti. Tebis Simulátor je prostředek pro plánování výroby. Je využitelný k naplánování vhodného stroje, ustavení obrobku, nalezení odpovídajících délek nástrojů či směru obrábění a kontroly vypočtených NC drah na kolize. Simulátor dovoluje provádět i úpravy NC drah, tj. výměnu za delší či kratší nástroj, nebo úpravu přejezdů mezi drahami. Takto upravené dráhy je možné postprocesorovat s jistotou bezpečného obrábění.

### **3.3 Neefektivnost ve výrobě lisovacího nářadí**

Dlouhé programování, časově náročné zpracování dokumentace, složité a dlouhé ustavování obrobku, nevhodné využití strojního parku, havárie a další důvody zbytečně prodražují výrobu a snižují zisk nástrojáren. Standardizace procesů výroby a využívání firemních znalostí vede k zvyšování kvality a ekonomičnosti. Jde zejména o zpracování kvalitních knihoven nástrojů, včetně celých sestav tak, aby se předešlo kolizím a využilo se celého technologického potenciálu nástroje. Na knihovny nástrojů velice úzce navazují šablony, které uchovávají technologický postup obrábění pro typově shodné obrobky. Šablony také mohou pomoci při automatizaci procesu obrábění a zejména jeho standardizaci.

## **4 Digitalizace kombinovaného nástroje**

### **4.1 Výrobní možnosti nástrojárny firmy Klein & Blažek, s. r. o.**

V oddělení nástrojárny Klein & Blažek, s. r. o. pracuje celkem 46 pracovníků, pracujících ve dvou směnách a jsou rozděleni do dvou skupin, na oddělení ruční a strojní údržby. Nástrojárna svou činností zabezpečuje a vytváří podporu výrobnímu provozu lisovny kovů. Jedná se především o opravy a plánovanou údržbou nářadí. Zbývající volné výrobní kapacity nástrojárny jsou vyplňovány výrobou nových projektů nářadí pro interní lisovnu kovů nebo externí zákazníky. Jelikož výrobní provoz lisovny plechový dílů disponuje poměrně rozmanitou škálou výrobního nářadí, jsou tito pracovníci oddělení nástrojárny skutečnými odborníky ve svém oboru. Jsou schopni plnit své úkoly pružně a reagují na vzniklé potíže v souvislosti s výpadky výroby s velkým přehledem a zkušeností, kterou získali z oboru lisařské praxe, která není jednoznačně ohraničené úzkými hranicemi konkrétního druhu výroby. Podporou nástrojárny je útvar konstrukce o počtu sedmi pracovníků, kteří zhotovují výkresovou dokumentaci pomocí CAD systému Pro/Engineer Wildfire IV ( 6 licencí ), Cimatron v. 9.0 (1 licence), Autodesk Inventor r.2008 (1 licence), SolidEdge v.18 (1 licence), AutoCad r.2008 (1 licence). Programy pro NC obráběcí stroje jsou řešeny v prostředí SW Cimatron v. 8.0 a Pro/Engineer Foundation II.

#### **4.1.1 Strojní vybavení oddělení nástrojárny**

- CNC obráběcí centra MCFV 1060 a ARROW 1000 (obr. 3.2.1 a)
- elektroerozivní zařízení CHARMILLES ROBOFORM 350 (obr. 3.2.1 b)
- CNC soustruh MT 50/800
- drátová řezačka HITACHI 355R a FANUC  $\alpha$ -0iD (obr. 3.2.1 c)
- Drátová řezačka CHARMILLES ROBOFIL 440 CC (obr. 3.2.1 d)
- mikronavařovací přístroj WELD PRO SW-9000
- všechny typy konvenčních strojů (soustruhy, frézky, brusky, vyvrtávačky)



a)



b)



c)



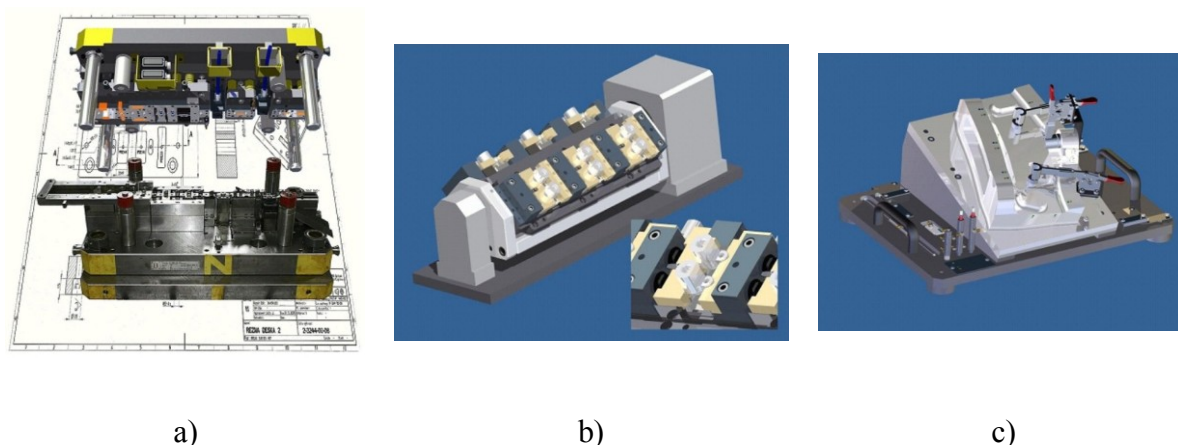
d)

Obr. 3.4 Výrobní zařízení nástrojárny

(a – MCFV 1060 a ARROW 1000 , b – CHARMILLES ROBOFORM 350  
c – HITACHI 355R a FANUC  $\alpha$ -0iD, d – CHARMILLES ROBOFIL 440 CC )

#### 4.1.2 Výrobní program nástrojárny

- údržba stávajících lisovacích nástrojů
- výroba postupových a střížných nástrojů (obr. 3.2.2 a)
- výroba ohýbacích a tvářecích nástrojů, ohýbadla a razidla
- svařovací a montážní přípravky
- upínací přípravky pro obráběcí stroje (obr. 3.2.2 b)
- kontrolní přípravky pro automobilový průmysl (obr. 3.2.2 c)



Obr. 3.2.2 Ukázka výrobního programu nástrojárny

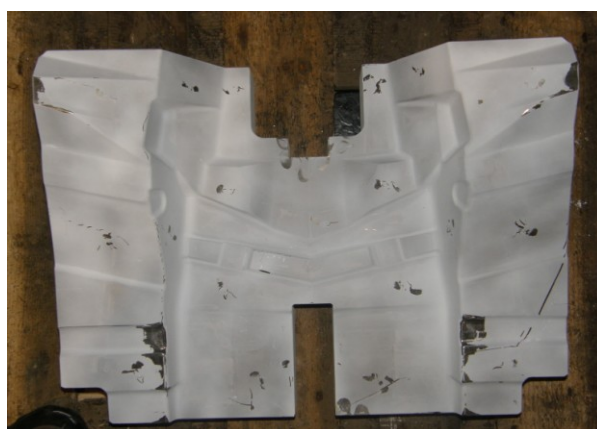
(a – postupový nástroj, b – upínací přípravek, c – kontrolní přípravek)

## 4.2 Obecná problematika výroby nářadí

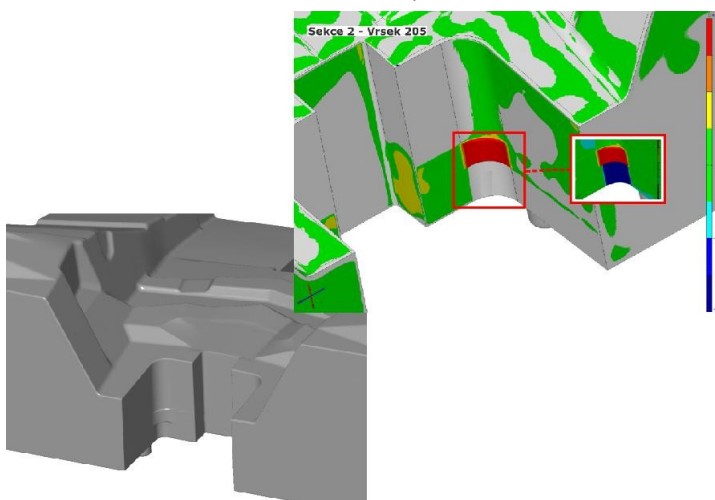
Přestože neustále rostou možnosti softwarů pro řízení technologických procesů, nástrojárna firmy Klein & Blažek, s. r. o. dosud používá klasický postup, nejprve nástroj zkonstruuje, vyrobí a pak provede několik iterací zkouškou na lisu s následnou úpravou nástroje. Pokud se podaří nastavením parametrů výrobního procesu (přidržovací síly, přítlaku brzdících lišt, mazání atd.) nebo jen menší lokální úpravou segmentu nástroje, například změnou zaoblení, zabezpečit výrobu kvalitních výtažků, je vše v pořádku. Pokud je nutné provést změnu většího rozsahu, nebo dokonce zasáhnout do koncepce celého nástroje, dojde k výraznému prodražení a často i k nesplnění termínů dodávky. V konstrukčním oddělení pracuje několik zkušených konstruktérů, kteří již řadu nástrojů odladili, a proto nedochází příliš často k té nejkritičtější variantě, kdy se musí celý stávající nástroj nebo jeho funkční části nahradit novými díly a vyhotovit tak zcela nový návrh či koncepci. Na druhou stranu se objevují stále nové a složitější tvary výlisků a mění se používané materiály. V takových situacích se pak zkušenosti konstruktérů musí opírat o sofistikovaná řešení v podobě speciálních simulačních softwarů. Tyto aplikace se výrazně orientují na potřeby uživatelů a pokrývají celý vývojový cyklus od podpory konstrukce vlastního dílu až po optimalizaci produkční výroby. Rovněž dochází ke zkracování dodacích lhůt a samozřejmě snahou



zákazníků je stlačit dolů i cenu náradí. Samostatnou kapitolou v nástrojářské praxi je tzv. hašení požáru, tj. zajišťování pravidelné údržby a oprav náradí ať už vlivem opotřebení v rámci plánované produkce výrobků nebo vlivem destrukce způsobené lidským faktorem či vlivem jiných činitelů (únava materiálu). V takových případech pak nástrojárna sahá po nejméně vhodném řešení čímž je ruční zásah. Tímto zásahem, který není podložen nezbytnými CAD/CAM daty vzniká neshoda mezi skutečným stavem vyrobeného produktu a jeho výkresovou, dnes již spíše CAD datovou dokumentací, která je zdrojem dalších neshod pro následující korekce vyvolané laděním náradí do finální podoby pro sériový stav produkce dílů nebo pro korekce vyvolané zákazníkem v rámci změnového procesu vývoje dílu (obr.3.3).



a)



b)

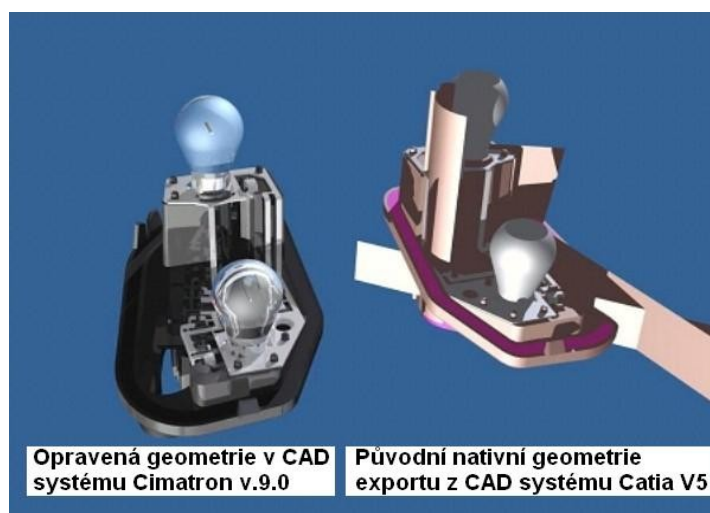
Obr. 3.3 Digitalizace pro rekonstrukci dat úprav lisovacího nástroje  
(a – spodní část tvářecího nástroje o velikosti 620 x 450 x 250 mm<sup>3</sup>,  
b – digitalizovaný 3D model tvárnice nástroje )



### 4.2.1 Interní proces výroby nářadí

Informace o výrobku jsou nyní prakticky vždy k dispozici jako 3D geometrie ve standardním formátu (IGES, VDA, STEP atd.), nebo stále častěji jako nativní data, zpravidla ze systému CATIA (obr.3.3.1). Na vstupu je tedy 3D geometrie dílu což je počátek pro návrh nářadí. Konstruktor pak nářadí navrhne a výsledný výkres spolu se vstupním modelem výrobku použije specialista, který ve 3D CAD systému vymodeluje jednotlivé nástroje tak, aby mohl technolog připravit CNC programy pro výrobu. Jakmile je nářadí vyrobeno, dochází k jejímu již zmiňovanému "ladění", které může vést až k tomu, že se vše vrátí konstruktérovi nazpět a on navrhuje nový koncept celého nářadí. Kritická situace nastane v okamžiku, kdy se musí změnit nejen konkrétní nástroj, ale i vlastní výrobek, protože tak, jak byl navržen, jej prostě nelze vyrobit.

V tomto okamžiku je potřeba provést úpravu nástroje. Pokud proces ladění byl korektně proveden tzn. bez ručního zásahu ale strojně, není pochyb o možných komplikacích, které by mohly nastat v rámci dokončení korekce a navíc bez případných více nákladů nebo prodloužení termínu dokončení.



Obr. 3.3.1 Ukázka nativních CAD dat ze SW CATIA v. 5 – platforma zadní svítilny osobního automobilu

S ohledem na kapacitní možnosti, termíny realizací, celkovou rozpracovanost technologických projektů a zabezpečení volných výrobních kapacit pro opravy stávajících nástrojů pro zabezpečení plynulého chodu provozu lisovny, se zhruba 70% z celkového ročního množství nových projektů výrobního nářadí realizuje v externích nástrojárnách České a Slovenské Republiky. Volné výrobní kapacity jsou nástrojárny a oddělení konstrukce jsou naplněny převážně podpůrnými technologickými projekty jako např. montážní a svařovací přípravky, kalibrační a střižné přípravky, kontrolní přípravky a technologické měrky. Roční objem interně zpracovaných a vyrobených nových projektů nářadí činí 12-20 jednotlivých kusů a dále ostatní včetně výše popsaných asi 200-250 projektů.

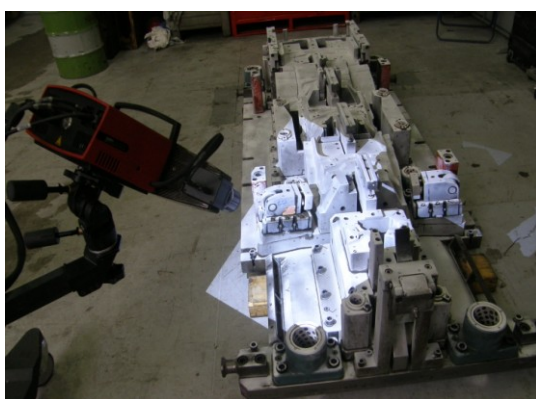
#### **4.2.2 Nářadí vyráběné externí nástrojárnou**

V rámci rozvahy nad celým postupem práce v konstrukci nástrojárny je tedy zjevné, že pro úplné dokončení optimalizačního procesu je důležitá obousměrná vazba s parametrickým CAD systémem.

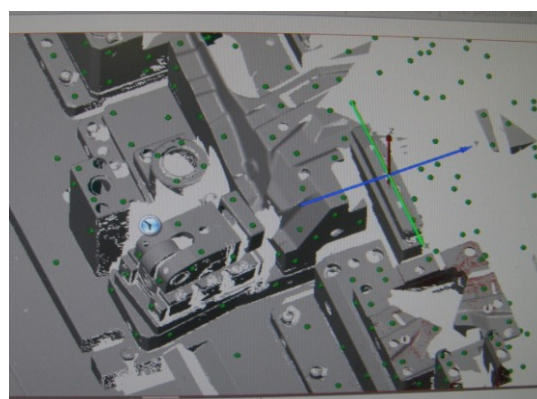
S ohledem na skutečnost, že tento proces výroby nářadí probíhá velmi podobně ve všech nástrojárnách, je důležité se spolehnout na partnera ze strany externí nástrojárny, který tento postup dodržuje. Externí nástrojárny předávají své projekty nářadí za určitých podmínek. Je to především výsledek v podobě shodného platného stavu výlisku dílu na základě vyhodnocení dle CAD datové dokumentace. Předávací protokol ze zkoušky lisování dále potvrzuje zaručené fungování nářadí za běhu lisovacího zařízení za podmínek definovaných technologem výroby a při nalisování zkušební série. CAD datová dokumentace a výrobní dokumentace jsou předány společně s nářadím.

Z důvodů nákladů a kapacity není většina nástrojů vyráběná samotnou společností. Externí dodavatelé navrhují tyto nástroje s použitím CAD a vyrábí je také podle CAD dat. Při spouštění nástroje jsou modifikace nutné kvůli technologii. To znamená, že skutečné plochy jsou modifikovány manuálně za účelem optimalizování transformačního procesu plechu a získání požadovaného tvaru. Tyto manuální modifikace nejsou ani zdokumentované ani integrované v CAD datech. Takže skutečný tvar nástroje již nadále nekoresponduje s originálním a základním designem.

V tomto okamžiku nastává problém, kdy firma Klein & Blažek, s. r. o. není schopna zkontrolovat shodu mezi dokumentací a skutečným stavem vyhotoveného nářadí (obr.3.3.2). V rámci zaručeného fungování nástroje jako celku, není možné kontrolovat jen některé části, je nutné kontrolovat celý nástroj bez ohledu na jeho velikost případně hmotnost. V důsledku manuálních úprav v průběhu zkoušení nářadí, již dále CAD model nemusí neodpovídat skutečnému stavu nástroje. Pokud aktuální stav nástroje neexistuje jako sada CAD dat, požadované modifikace mohou být aplikovány na nástroj pouze pracným a časově náročným způsobem.



a)



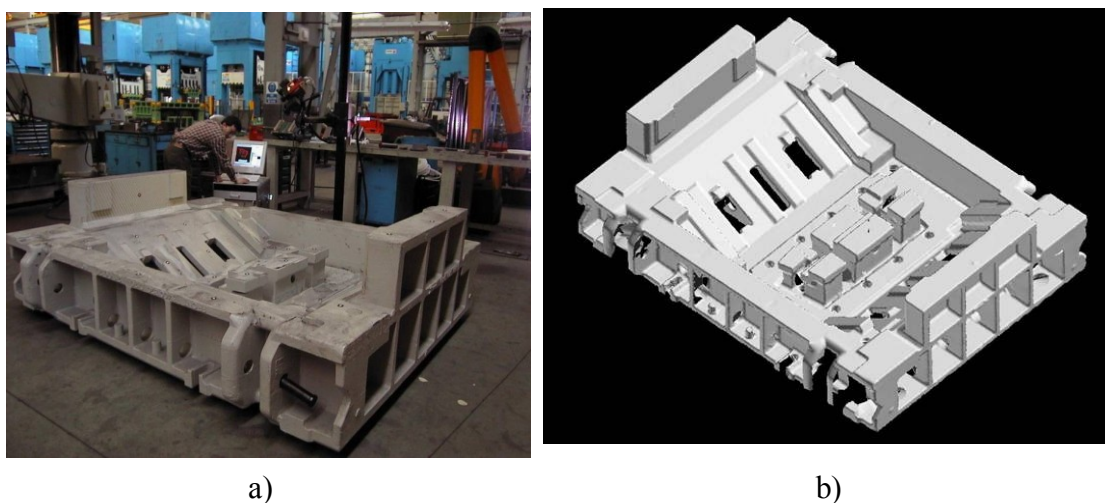
b)

Obr.3.3.2 Úprava CAD modelu dle skutečného lisovacího nástroje  
(a – měření lisovacího nástroje přímo ve výrobní hale , b – digitalizovaný sken  
dodatečně upravované části tvárnice lisovacího nástroje )

### 4.3 Podpora CNC obrábění

Aktualizovaná CAD data značně usnadní modifikaci a obnovu. Modifikace mohou být účinně aplikovány na nástroj pouze procesem frézování. Nástrojárna firmy Klein & Blažek, s. r. o. úspěšně používá CAD/CAM systém Cimatron a Pro/Engineer již více než deset let, aby vypočítal NC programy, potřebné pro takovýto proces. NC program pro požadované modifikace je založen na CAD povrchu nástroje.

V rámci urychlení procesu výroby nového nářadí respektive úprav stávajícího nářadí bez aktuální CAD datové podoby je velmi výhodné provést digitalizaci odlitku polotovaru nebo hlavních segmentů nástroje a zavést proces hrubování. Touto záležitostí je sledován efekt zkrácení doby přejezdů frézovacího nástroje v bezpečné vzdálenosti od kontaktních ploch obrobku tak, aby nedošlo k případné havárii v případě, že tato vzdálenost byla technologem obrábění definovaná jako příliš malá nebo naopak neproduktivní doba kdy nástroj neobrábí byla příliš velká vlivem volby velmi velké bezpečné vzdálenosti od ploch obrobku (obr. 3.4).



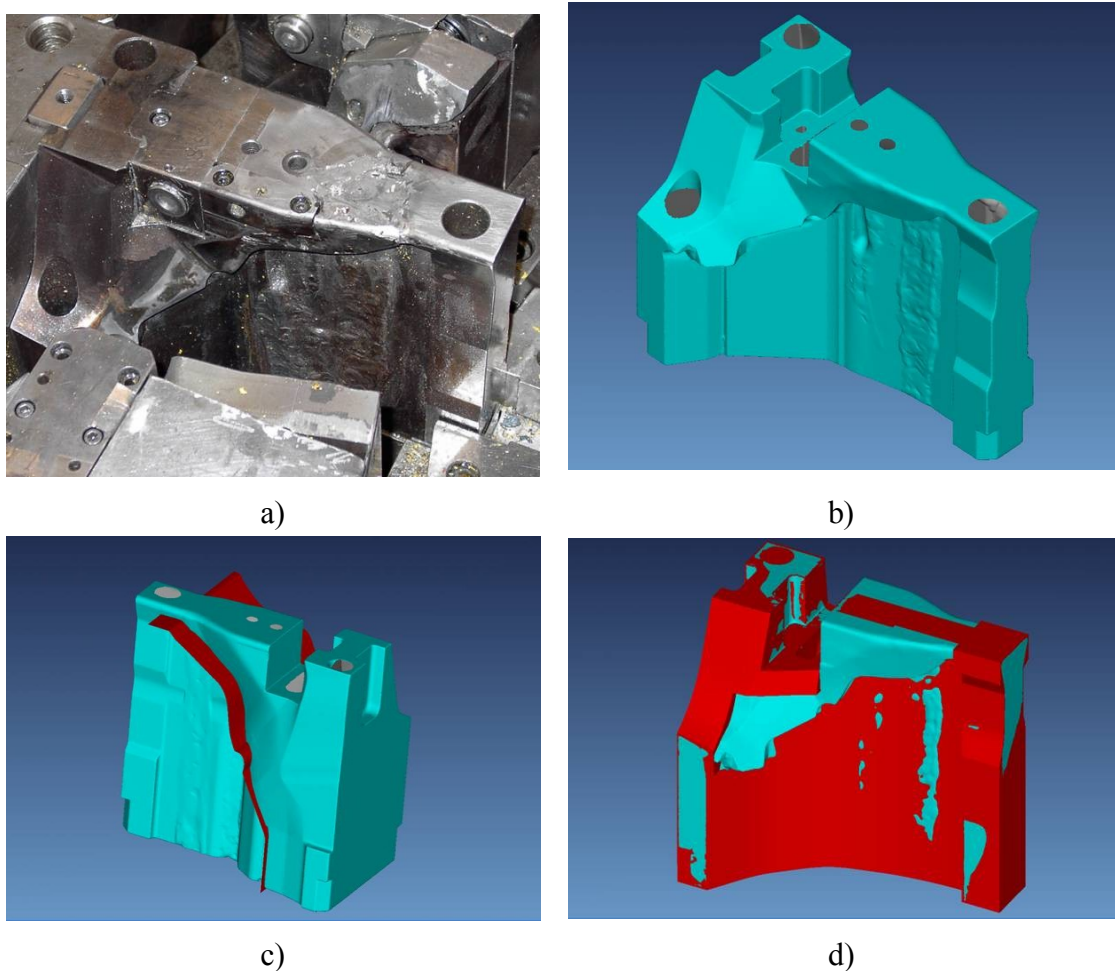
Obr. 3.4 Digitalizace odlitku polotovaru

(a – skutečný odlitek rámu nástroje , b – digitalizovaný 3D model rámu nástroje )

V současné době oddělení nástrojárny není v rámci strojních výrobních zařízení připraveno obrábět díly pro sestavy nářadí na základě polygonální sítě získané rekonstrukcí. Skutečnost, že při případných úpravách nebo opravách vlivem poškození je nutné postupovat klasickým způsobem, tedy přesně ustavit konkrétní součást pro vyrovnání za nejvíce přesné prvky na příklad otvory pro kolíky (při výrobní toleranci H7/h6) a poté provést úkon, je proces velmi pracný a časově náročný. Provést měřicí analýzu funkčního stavu celé sestavy nástroje větších rozměrových parametrů ověřením na souřadnicovém měřicím stroji je prakticky nereálné.

#### 4.4 Opravy nářadí během výroby

Vlastní výrobní proces v lisovně kovů je často doprovázen nestandardní situací způsobenou rozbitím nástroje, čímž je zastavena plánovaná výroba dílů. V tomto okamžiku je vyvozen tlak ze strany lisovny na oddělení nástrojárny na rychlou opravu příslušných komponentů, vadné díly musí být opraveny nebo nahrazeny tak, aby mohla být obnovena výroba. Jelikož existující CAD data nejsou identická s aktuálním nástrojem, musí být kompletní manuální úprava zkoušky nástroje provedena znovu. Navíc přepracovaný stav dokumentace externě vyráběného nářadí není často zdokumentované.



Obr. 3.4 Rekonstrukce lisovacího nástroje

(a – původně poškozená lisovací tvárnice , b – výsledek digitalizace – polygonální trojúhelníková síť c – rekonstrukce stříhových hran, d – vytvoření hybridního modelu dílu– polygonální model a rekonstruované plochy )

Problém je ještě kritičtější v okamžiku, jestliže je nezbytné vyhotovit nástroj znovu v časové tísní. V nejhorším případě to může způsobit prostoj ve výrobě, který stojí hodně peněz (obr.3.4).

#### 4.5 Hodnocení problematiky výroby nářadí

Klasický proces výroby strojních součástí začíná konstrukcí například CAD modelu, poté následuje navržení technologie pro NC obráběcí centrum a vyrobení požadované součásti. Reverzní inženýrství (Reverse Engineering) naproti tomu zahrnuje procesy, při nichž dochází k vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu. Postup kroků je otočen vůči klasické výrobě a obrábění na NC stroji je nahrazeno digitalizací objektu. Teoretických možností využití procesu Reverse Engineering je spousta, ale v praxi je to trochu jinak. Hlavním problémem je cena 3D skenerů a specializovaného softwaru, v obou případech jde totiž řádově o stovky tisíc až miliony Kč. Z tohoto důvodu může být výhodnější využít služeb některé z firem, které se touto činností zabývají.

U forem pro lisování plechů či vstřikování plastů mohou nastat problémy s přesností finálního výrobku. Je to způsobeno buď technologickým procesem nebo chybami, destrukcí nářadí při výrobě formy. Dalším případem je i převedení výroby na již zaběhnutých technologiích na nichž se již projevuje opotřebení. Ve většině případů je nářadí předáno bez jakékoli výrobní či konstrukční dokumentace. V takových případech se forma ručně upravuje a doladňuje, aby se minimalizovala zmetkovitost výroby. Pokud má být forma použita v sériové výrobě či pokud má být materiál formy homogenní, je potřeba aktualizovat původní CAD model, vygenerovat nový CNC kód a vyrobit novou formu. Výroba tvarových nástrojů (částí forem a zápustek) především z jakostních nástrojových ocelí je jednou z nejsložitějších úloh současného přístupu k obrábění. Nejnáročnější požadavky na formy a zápustky vycházejí především z jejich geometrické přesnosti a kvality a integrity konečného povrchu. Dále také výrazně stoupá tlak na časové a nákladové aspekty. Proto je nutné pro udržení tempa s konkurencí hledat nové inovační metody pro řešení výše uvedených problematik, a tyto cíleně aplikovat.

Právě metody reverzního inženýrství a především digitalizace představují nový nástroj pro analýzu obrobeného povrchu, zejména z hlediska jeho přesnosti. Ve spojení s moderními CAD/CAM systémy umožňuje digitalizace nejen "klasické" kontrolní činnosti, ale přináší také možnost preventivního předcházení problémům. V celém výrobním řetězci při produkci složitých tvarových ploch je možné díky digitalizaci docílit značných časových i technologických úspor. Digitalizace a reverzní inženýrství jsou také jedinečným prostředkem zpětné reprodukce rozměru a tvaru u součástí, ke kterým neexistuje výkresová či digitální dokumentace.

### **Optimální koncept**

V předvýrobní etapě výroby náradí, tedy v konstrukční fázi je vhodné vsadit nejen na odbornou zdatnost a dlouhodobé zkušenost pracovníků konstrukce, ale hlavně na speciální simulační softwary jako např. AutoForm, Pam-Stamp, Q-Form, Ansis atd., který umožňuje navrhovat nástroje tváření, zejména lisování plechu. Součástí systémů bývá také simulace tohoto procesu. Systémy se výrazně orientují na potřeby uživatelů a pokrývají celý vývojový cyklus od podpory konstrukce vlastního dílu až po optimalizaci produkční výroby. K zásadním úlohám patří zejména přesný výpočet odpružení tvářených dílů a jeho následná kompenzace, dále modelování geometrie, výpočet tvářecích sil a automatická modifikace geometrie nástrojů na základě vypočítaného odpružení. Upravená geometrie může být znovu automaticky použita pro nový výpočet odpružení, který se ověřuje právě prostřednictvím reverzního inženýrství, jenž zahrnuje procesy, při nichž dochází k vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu. Takto optimalizovaný proces v prvních etapách vývoje velmi výrazně snižuje riziko pozdějších velmi nákladných změn na skutečných nástrojích. Automaticky se vytvoří přechodové plochy do oblastí, které nemají být změněny. Tím lze mnohem snadněji najít vhodný tvar lisovacích a přechodových ploch a následně optimalizovat celý tvářecí proces. SW je schopen přesně počítat tvářecí síly, uživatel je tímto schopen správně definovat zařízení pro produkci dílu již v prvních etapách návrhu dílu a nástrojů.



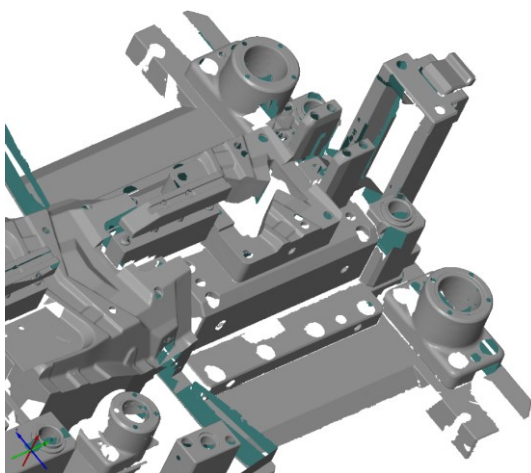
## 4.6 Shrnutí vstupních informací

- ověřování platnosti CAD dat vůči skutečnému vyrobenému nářadí
- digitalizace návrhu procesů tváření při ladění nářadí
- přesná digitalizace při rekonstrukci dat dodatečných úprav lisovacího nástroje
- digitalizace polotovaru rámu nástrojů pro urychlení procesu hrubování
- přesná digitalizace pro frézování polygonální sítě
- přesná digitalizace pro kontrolu kvality dílů výrobní produkce
- mezioperační kontrola pro potřeby oddělení nástrojárny

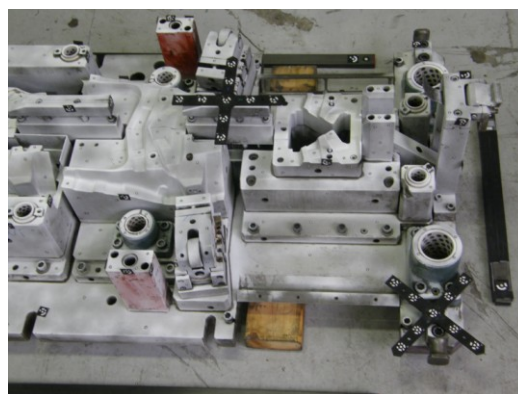
## 4.7 Návrh řešení

ad 4.6 a) Ověřování platnosti CAD dat vůči skutečnému vyrobenému nářadí

V rámci převodů výroby dílů od subdodavatelů finálních sestav koncovému zákazníkovi, tzn. zavedená technologie výroby dílů na sériovém nářadí s ověřenou způsobilostí v rámci procesu vzorkování se převede do prostředí firmy Klein & Blažek, s. r. o. S tímto převodem putuje také CAD dokumentace nářadí. Soulad mezi předaným nářadím a CAD daty lze ověřit rychlým skenováním a následně vzájemným porovnáním, tj. přiložením obou datových prezentací na sebe v ATOS II (obr.3.7.1).

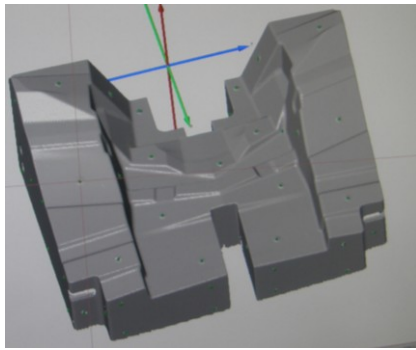


a)

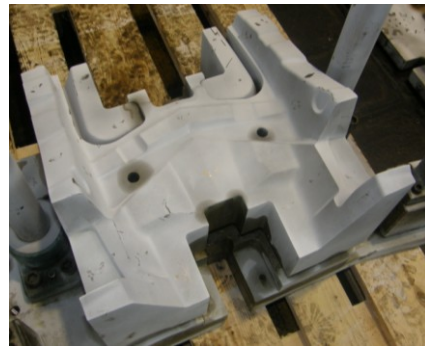


b)





c)



d)

Obr. 3.7.1 Analýza stavu platnosti lisovacího nástroje

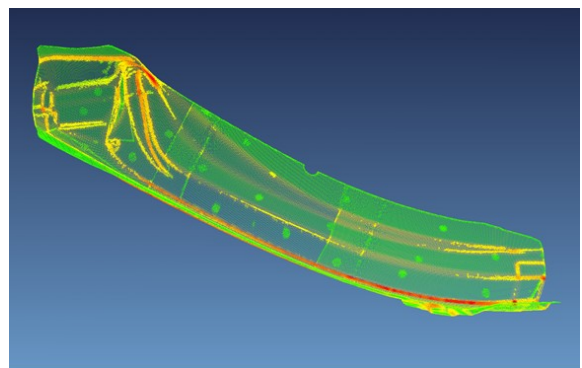
(a – digitalizovaná CAD podoba celého postupového nástroje, b – fyzická podoba postupového nástroje, c – digitalizovaná CAD podoba formovací části postupového nástroje, d – fyzická podoba formovací části postupového nástroje )

#### ad 4.6 b) Digitalizace návrhu procesů tváření při ladění nářadí

Proces odladění finální podoby shodného dílu u složitého nářadí typu kombinovaný, postupový nástroj, bývá často doprovázen řadou postupných analýz chování jednotlivých fází tvorby dílu s ohledem na proces tváření materiálu. Dobrý výsledek v podobě ověřeného dílu se dostaví pouze tehdy, pokud jsou jednotlivé navazující operace ve sledu postupu tvorby dílu ověřeny přesnou diagnostikou v podobě zjištěných odchylek (obr.3.7.2).



a)



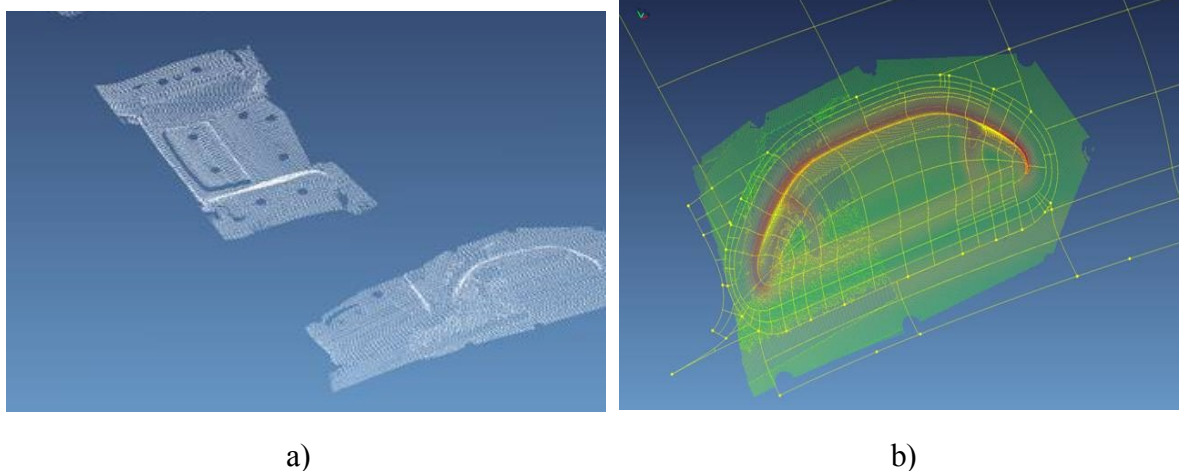
b)

Obr. 3.7.2 Proces ladění nářadí

(a – stav výlisku po operaci tváření, b – 3D model měřeného dílu po operaci tváření)

## ad 4.6 c) Přesná digitalizace při rekonstrukci dat dodatečných úprav nástroje

Vlivem opotřebení funkčních částí nebo vlivem poškození při chodu dojde ke snížení plánované životnosti nářadí. S ohledem na stav opotřebení konkrétního elementu je nutné zajistit výrobu dílu nového ve stávající kvalitě. V praxi mnohdy nastane situace, kdy dojde ke strátě či nepředání CAD dat nářadí při převodu výroby. Ruční zásah v rámci oprav je dalším prvkem, který vede k přesné digitalizaci pomocí aplikace ATOS II tak, aby byla zajištěna aktualizovaná výrobní dokumentace nářadí (obr.3.7.3).



Obr. 3.7.3 Rekonstruovaná data části nástroje

(a – rekonstrukce pouze části nástroje, b – začlenění nových ploch do existující CAD geometrie)

## ad 4.6 d) Digitalizace rámu nástrojů pro urychlení procesu hrubování

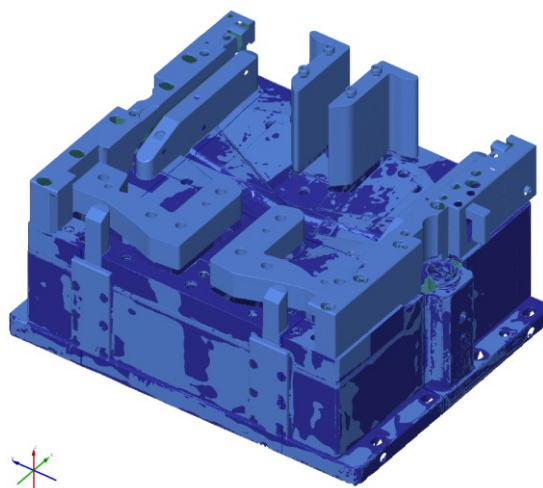
Dalším využitím podkladů z digitalizace je vytvoření NC programů pro vyfrézování zjištěných modifikací. Pokud jsou tyto modifikace na hybridních plochách, jsou tyto části síťových dat vyměněny za přesný polynomický povrch pro jednodušší manipulaci. CAM modul v SW Tebis pracuje na síťových datech, stejně dobře jako na smíšených datových strukturách, skládajících se z povrchů a sítí. Programy pro hrubování a dokončování jsou rychle propočítány a přeneseny na stroj. Stroj začne okamžitě pracovat s namontovaným nástrojem. Programy jsou kompletně zpracovány během několika minut.

## ad 4.6 e) Přesná digitalizace pro frézování polygonální sítě

Na základě získaných dat v rámci procesu digitalizace je možné konkrétní polygonální síť tvořenou velkým shlukem triagonálních ploch různé velikosti a tvaru začít přímou metodou obrábět nejčastěji NC frézováním bez nutnosti rekonstrukce ploch. Rekonstrukce je proces matematického popisu obecných ploch do podoby, se kterou potom dále je možné pracovat v jakémkoli CAD modeláři. (obr. 3.7.4).



a)



b)

Obr. 3.7.4 Přesná digitalizace pro frézování polygonální sítě

(a – tvářecí stanice postupového nástroje, b – digitalizovaný 3D model tvářecí stanice postupového nástroje )

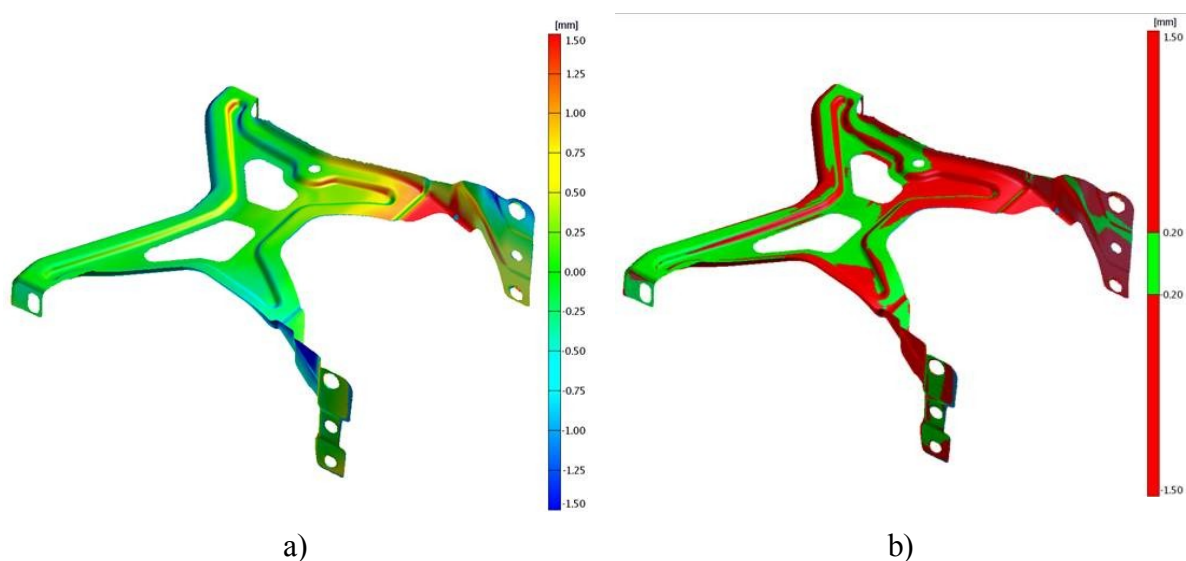
## ad 4.6 f) Přesná digitalizace pro kvalitu dílů výrobní produkce

Při kontrole kvality v systému ATOS II lze s výhodou využívat možnosti matematického ustavení dílu pomocí registrace. Registrací lze složit souřadné systémy CAD modelu dílu a digitalizovaných dat. K dispozici jsou hned čtyři možnosti ustavení:

- Pre-registrace
- Best fit registrace
- RPS registrace
- 321 registrace

#### 4.8 Prezentování výsledků digitalizace v ATOS Viewer

ATOS Viewer zobrazí všechny informace, které jsou uloženy v CAD modelu během vývoje výrobku. Přenesení všech CAD, NC data a další dokumenty na každé pracoviště skrze výrobní proces. Software čte nejběžnější CAD formáty a data výkresů. Kótovací funkce snadno zjistí všechny geometrické rozměry na dílu nebo v sestavě, včetně délek, vzdáleností, průměrů a úhlů. V případě nutnosti lze bez omezení vytvářet body, úsečky, křivky, roviny a souřadné systémy. Analytické funkce ověřují (kontrolují) CAD model dle různých kritérií jako jsou díry, roviny, zaoblení a úkopy. Mimo to lze najít nástroje důkladně kontrolující plochy modelu pro kvalitu konstrukce (obr.4.8). Zahrnuje také pohledy, výkresy a textové funkce k doplňování textu a poznámek. U tvarově složitých součástí lze s výhodou využít funkce pro řezy, která umožní zjišťovat odchylky mezi CAD modelem dílu a skenovanou geometrií přímo mezi hranicemi řezů, viz. příloha A4.1.



Obr. 4.8 ATOS Viewer – inspekce pomocí barevné mapy

(a – toleranční pole z CAD , b – vyhodnocení vyhovujícího / nevyhovujícího dílu )

## **5 Koncepce Reverse Engineering v podmínkách firmy Klein & Blažek, s. r. o.**

V této kapitole bude detailně zdokumentována koncepce digitalizace a postup vyhotovení výrobní dokumentace pro CAM v rámci procesu reverzního inženýrství.

Za účelem zjištění přínosu za vynaloženou investici v pořízení systému ATOS II a systému Tebis pro potřeby oddělení ÚŘJ, nástrojárny, konstrukce i samotného výrobního provozu firmy Klein & Blažek, s. r. o. byl zpracován projekt, jehož výsledkem bude vyhotovení výrobní dokumentace již existujícího kombinovaného lisovacího nástroje. Součástí tohoto projektu bude zjistit stav opotřebení jednotlivých funkčních ploch tvarových částí nástroje, dále pak zjistit rozsah poškození nástroje vlivem deformací způsobených chybami při produkční aplikaci nástroje ve výrobě, geometrická přesnost v poloze a umístění navazujících částí nástroje, konstrukční a technologicko výrobní neshody. Na základě analýzy stavu nástroje byla v této kapitole prezentována rozvaha a návrh řešení pro zvýšení parametru životnosti tohoto nástroje s ohledem na plánovanou výrobní produkci a s přihlédnutím na způsob a výsledky měření, které poskytuje bezkontaktní optická metoda měření. Toto řešení spojí jednotlivé útvary společnost Klein & Blažek, s. r. o. a vytvoří tak jednotnou platformu měření napříč celou firmou, neboť optický skener je možné využít kromě klasického 3D skenování (vytvoření celého objektu) i jako souřadnicové měřicí zařízení, které najde uplatnění zejména při výrobě strojírenských součástí. Na základě této práce lze posoudit návratnost vynaložené investice na vyhotovení nově konstrukční dokumentace oproti vytvoření výrobní dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu, v tomto případě samotného lisovacího nástroje.

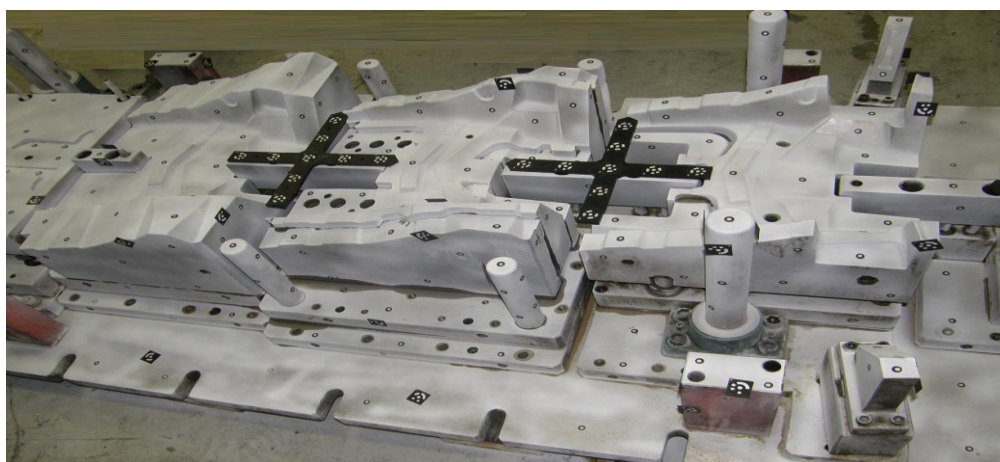
### **5.1 Vstupní informace o projektu**

Měřeným objektem bude postupový lisovací nástroj MW 20078 (obr.5.1.). Vlastníkem náradí je zahraniční partner, se kterým firma Klein & Blažek, s. r. o. uzavřela obchodní kontrakt ohledně výroby dílu Výztuha závěsu horní 1Z5 833 327/328 (obr.5.2.) s ročním objemem výroby 176000 párů po dobu pěti let. Dle dostupných informací, o původu tohoto nástroje, tedy o výrobci, nebylo nic známo, tudíž i konstrukční či výrobní dokumentace od náradí nebyla předána k užívání firmě Klein & Blažek, s. r. o.



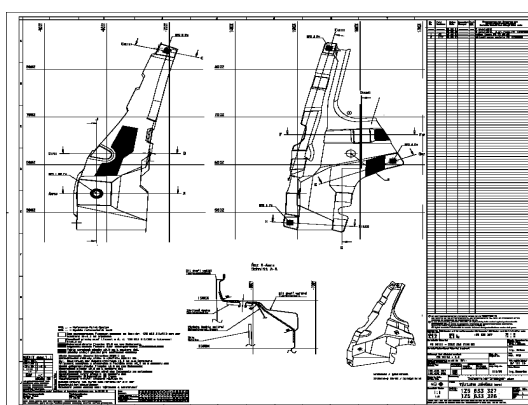


a)

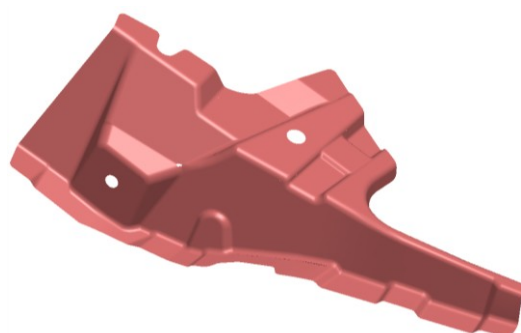


b)

Obr. 5.1 Postupový lisovací nástroj MW 20078  
(a – spodní část nástroje , b – horní část nástroje )



a)

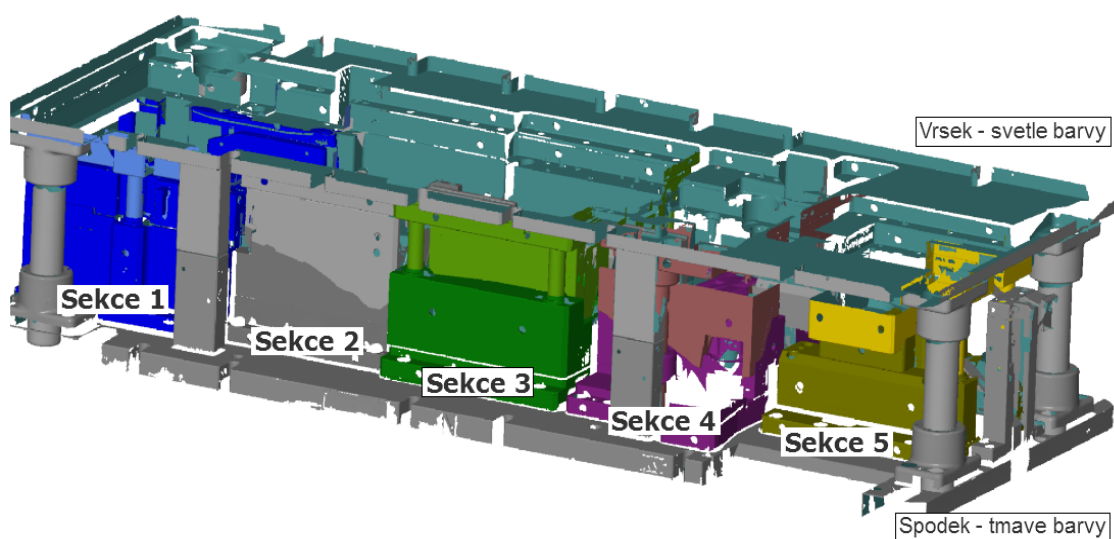


b)

Obr.5.2 Dokumentace vyráběného dílu Výztuha závěsu horní 1Z5 833 327/328  
(a – výkres dílu , b – CAD model dílu )

Dominujícím parametrem tohoto nástroje je jeho velikost (2880x1050x760)mm a hmotnost 4560kg. Je tvořen dvojicí hlavních desek, desky základové a upínací. Mezi deskami se nachází pět samostatných jednotek v logickém technologickém uspořádání za sebou, které jsou k dvojici desek přišroubovány (obr.5.3.). Obě desky tvoří rám nástroje propojené čtveřicí suvných vodících prvků zaručující přesný vertikální pohyb. Zároveň plní funkci společné technologické základny a je opatřen upínacími a středícími prvky pro provozování na výrobním zařízení. Výrobním zařízením je v tomto případě dvouklikový výstředníkový lis s hydromechanickým doběhem beranu Andritz Kaiser 6300kN. Mezi hlavním rámem nástroje se nachází pět jednotek ( ve směru pohybu pasu, resp. výrobní linky):

1. střížná sekce I.
2. hlavní tvářecí sekce
3. střížná sekce II. - obvodový stříh dílu
4. děrovací + kalibrační sekce
5. střížná sekce III. - rozstříh dílu



Obr. 5.3. Barevné rozdělení sekcí nástroje

## 5.2 Výchozí stav nářadí před vlastním měřením

Při převzetí nástroje do výrobního procesu bylo zjištěno pracovníky firmy Klein & Blažek, s. r. o. za přítomnosti zástupců zákazníka, že nástroj MW 20078 vykazuje zjevné známky poškození. Shledané neshody mají přímou souvislost s opotřebením nástroje a překročením jeho plánované životnosti. Některá kritická místa tvarových dílů byla po detailnějším ohledání pomocí kapilární zkoušky metodou barevné indikace dokonce shledána jako roztržštěná, nevhodným způsobem renovována navařením metodou 111 a následně ručním mechanickým způsobem opracována. Další neshody byly charakteru otlaků, nerovností, lokálních prasklin či úlomků, které byly způsobeny chybami a nepozorností při seřizování a produkčním provozem nástroje.

Následně byla provedena zkouška funkčního stavu nástroje na výrobním zařízení kde bylo shledáno nestabilní, neklidné chování některých částí nástroje, což bylo prokázáno na výsledcích měření dílu z CCM. Při seřizování nástroje se projevovali nadměrné vůle ve vodících prvcích nástroje, což se projevovalo častým zadřením těchto prvků a bylo doprovázeno netypickým zvukovým projevem. Při samotném seřízení nástroje na sevřenou pracovní výšku definovanou hlavními dorazy bylo shledáno nepatrné prohýbání hlavních desek rámu nástroje. Tato zjištění by měla fatální důsledek pro další uvažovanou výrobní produkci na tomto nářadí.

### **Zjištěné neshody vizuální kontrolou:**

1. Deformace funkčních tvarových ploch jednotlivých částí
  2. Opotřebením vodících prvků
  3. Deformace ohybem hlavního rámu
  4. Nejednotná výška hlavních dorazů
  5. Nevhodné koncepční uspořádání
- Neexistence konstrukční dokumentace

S ohledem na tyto vstupní informace a zjištěné neshody během převzetí nářadí se oba partneři dohodli, že se tento zjištěný stav ověří na základě certifikované metody



měření a poté by se provedla rozvaha nad dalším postupem tak, aby byla zajištěna produkční schopnost stávajícího nástroje s výhledem na dalších pět let. S ohledem na současnou výrobní produkci by se jednalo o zhruba 900000 párů dílu Výztuha závěsu horní 1Z5 833 327/328. Dle závěru jednání a dohody obou partnerských stran, renovace nářadí a samotné měření musí proběhnou v plánované odstávce s předem vyhotovenou předzásobou dílů tak, aby se nenarušila plynulost odvolávkového řízení.

S ohledem na parametry rychlosti, metody měření, zachování současného stavu nářadí a následného vyhotovení platné výkresové dokumentace vyšla volba na bezkontaktní optickou metodu měření založené na platformě ATOS II a SW Tebis.

### **5.3 Předpoklady a postup měření**

Z důvodu nadměrné velikosti a hmotnosti objektu bylo měření provedeno v podmínkách firmy Klein & Blažek, s. r. o. Jelikož bylo potřeba zpracovávat velké objemy dat, vznikla zde potřeba zajistit dostatečný na výpočetní výkon pracovní stanice.

#### **Doporučené parametry:**

RAM 8GB, Procesor Xeon Duo/Quad Core, Graf. karta NVidia FX 1800 ( 1024MB)

#### **Enviromentální aspekty:**

- teplota okolí 20°C
- osvětlení 200 lx
- vlhkost 68%
- prostředí bez vibrací

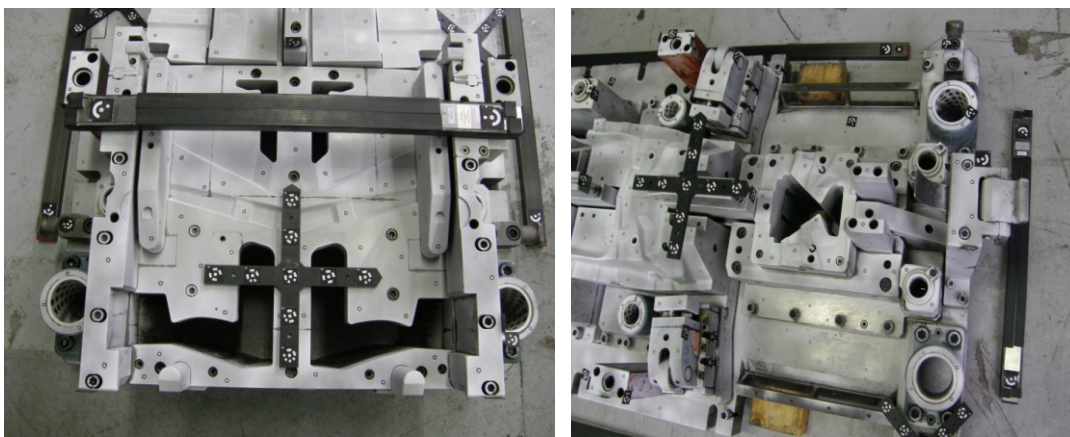
#### **Podmínky:**

- bez možnosti uložení objektu na průměrnou desku nebo rovinnou základnu
- objekt musí být dokonale čistý, bez použití konzervantů
- skenování kompletně smontované spodní a horní části
- demontované jednotlivě díly sestavy
- popis jednotlivých dílů sestavy

## 5.4 Příprava a vlastní postup měření nástroje

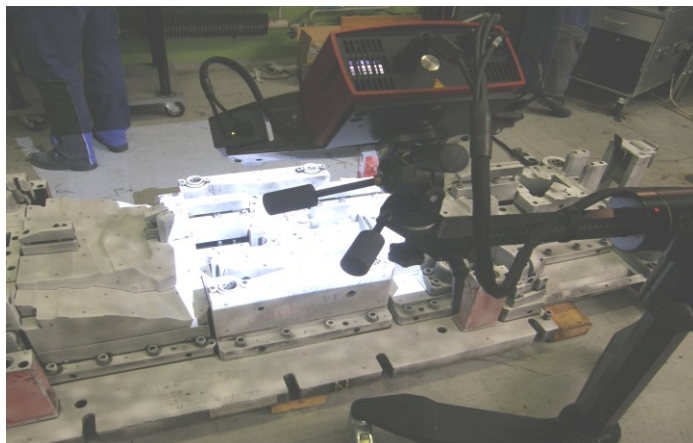
Před vlastním skenováním předchází samotné čištění, důkladné odstranění hrubých nečistot, prachu a konzervantů z ploch měřeného objektu. Následovalo použití vývojky ve formě bílého prášku, který se rovnoměrně nanese na plochy objektu a vytvoří tak tenkou vrstvu. Dalším krokem bylo vyznačení několika orientačních bodů pro přesné skládání snímků v 3D těleso. Používají se tzv. centrovací terčíky, které se umístily na skenovaném objektu, jejich počet byl několik desítek kusů. Součástí snímků bodů byly i kalibrační kříže a kalibrační tyč, položená vedle měřeného předmětu pro orientaci v prostoru systému Tritop (obr.5.4).

Tyto činnosti byly provedeny ve dvou fázích, nejprve se provedlo skenování kompletně smontované spodní a horní části a poté jednotlivých dílčích částí sestavy nástroje. Důvodem této rozvahy bylo zjistit geometrickou přesnost polohy a tvaru prvků nástroje ve vzájemné vazbě vůči funkčnímu uspořádání.



a)





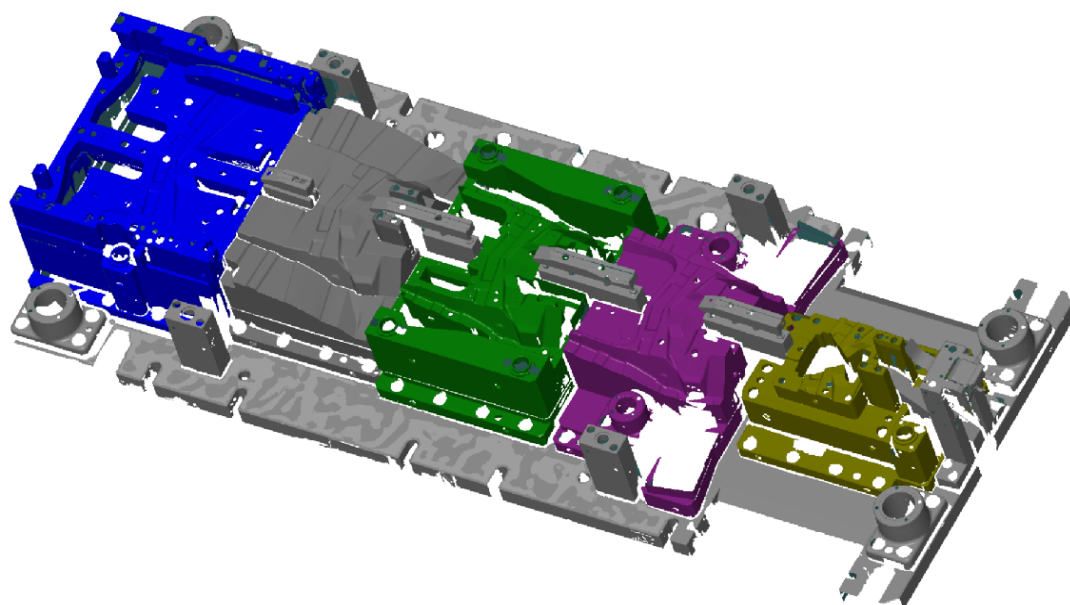
b)

Obr. 5.5. Průběh skenování

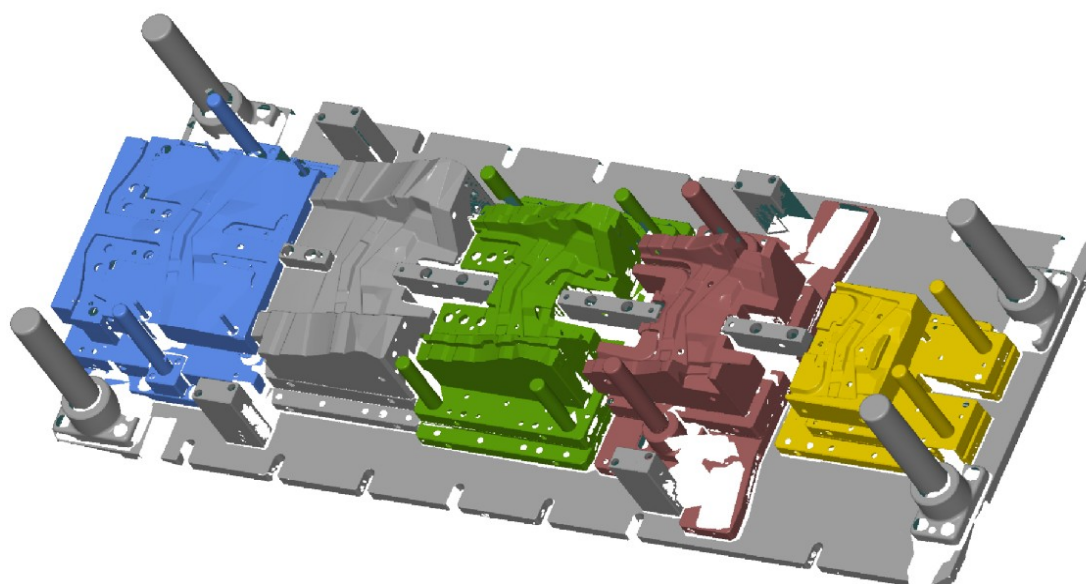
(a – on-line přenos a zpracovávání snímků na výkoném PC , b – skener ATOS II v činnosti při pořizování snímků )

Celý proces převodu nasnímaných dat na prostorový model začíná načtením a následnou filtrací dat. Systém ATOS II disponuje možností načíst celou řadu používaných formátů dat. Filtrace metodou homogenní nebo adaptivní slouží ke snížení počtu bodů pro zrychlení výpočtu. Po filtraci následuje teselace neboli mozaikování, při kterém dochází k určení vzájemných vazeb mezi sousedními body pro potřebu dalšího výpočtu ploch. V tomto kroku se vytváří trojúhelníková síť. Data získaná při měření se dají použít k vytvoření digitálního modelu s přesnou geometrií a k následnému porovnání s teoretickým CAD modelem.

Takto pořízené fotografie se přenesou z fotoaparátu do počítače a zpracují se speciálním algoritmem, který dokáže z více snímků vyhodnotit prostorové souřadnice bodů a podle kalibrační tyče přiřadit správné číselné údaje vzdáleností. Výsledkem je mrak 3D bodů uspořádaných v triagonální STL geometrii mezi nimiž se dají přesně měřit vzdálenosti obr.5.6).



a)



b)

Obr. 5.6. Výsledný digitalizovaný model sestavy nástroje MW 20078  
(a – digitalizovaný model spodního dílu sestavy , b – digitalizovaný model horního dílu sestavy )



## 5.5 Výsledky měření

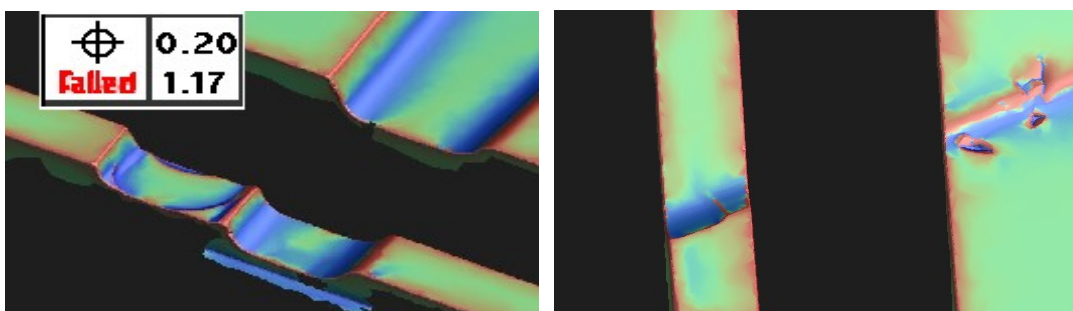
Na základě vizuální kontroly bylo provedeno celkem sedm analýz a měření s cílem využít prostředky software ATOS II a Tebis k odhalení neshod současného stavu nástroje MW 20078. Samotnému procesu měření předcházely plány o způsobu vyhodnocení měření a byly prezentovány úvahy a předpoklady ke správnému postupu měření.

### 5.5.1 Deformace funkčních tvarových ploch

Na základě vizuální kontroly a kapilární zkouškou metodou barevné indikace byl prověřen stav opotřebení jednotlivých funkčních částí nástroje, zejména ohybových vložek, ohybníků, tvárnic, střížných vložek, razníků a matric. Vývojka (oxid hořečnatý) identifikovala několik vadných dílů se sítovými trhlinami na povrchu tvarové plochy součásti.



a)

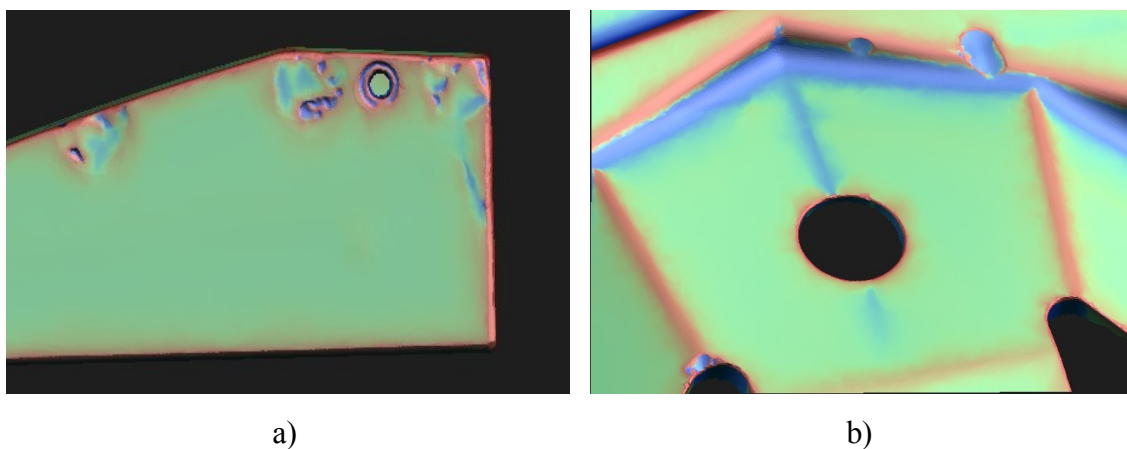


b)

Obr. 5.5.1a Prezentace zjištěných neshod tvarový ploch nástroje

(a – porovnání skutečného podoby se snímkem ze skeneru , b – porovnání CAD dat dílu se skenovanou geometrií nástroje )

Další kontrolou kvality těchto dílů bylo vyšetření stavu následným posouzením v prostředí SW ATOS II. Do skenu sestavy nástroje byla vložena povrchová geometrie nativního CAD modelu dílu 1Z5 833 327/328 k porovnání rozdílů obou geometrií. Touto analýzou byly zjištěny lokální odchylky geometrického tvaru a polohy snímaných bodů v maximální velikosti 1,17mm (obr.5.5.1a). Samotnou vizuální kontrolou kvality geometrie v ATOS byly zjištěny i hrubé vady, otláčené oblasti, trhliny, chybějící části tvarových ploch atd. Tyto neshody byly rekonstruovány následně při zpracovávání podkladů v SW Tebis (obr.5.5.1b).



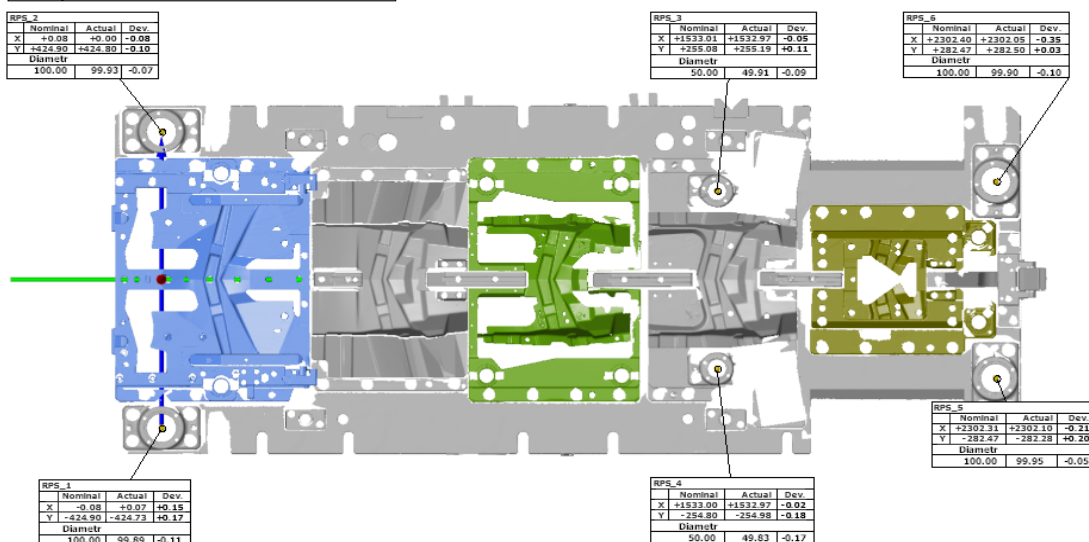
Obr. 5.5.1b Kontrola kvality geometrie

(a – neshoda v kvalitě střížné hrany matrice , b – neshoda v kvalitě tvarové plochy ohybnice)

### 5.5.2 Opotřebení vodících prvků

Na základě pořízených skenů obou částí nástroje byla v systému ATOS II zhotovena sestava na jejichž základě byl prezentován výsledek v podobě odchylek vzájemné polohy a skutečného průměru vodících sloupků a pouzder. Rozsah naměřených hodnot polohy prvků v ose X a ose Y byly od 0.02mm do 0.35mm a maximální odchylka průměru 0,17mm. Tyto zjištěné skutečnosti potvrdily domněnky vyřčené během přejímky nástroje, viz. kapitola 5.2 ohledně zadírání kluzných vodících částí nástroje (obr.5.5.2).

**Presnost ustavení vrsku na spodek  
Vule prvku vedeni**

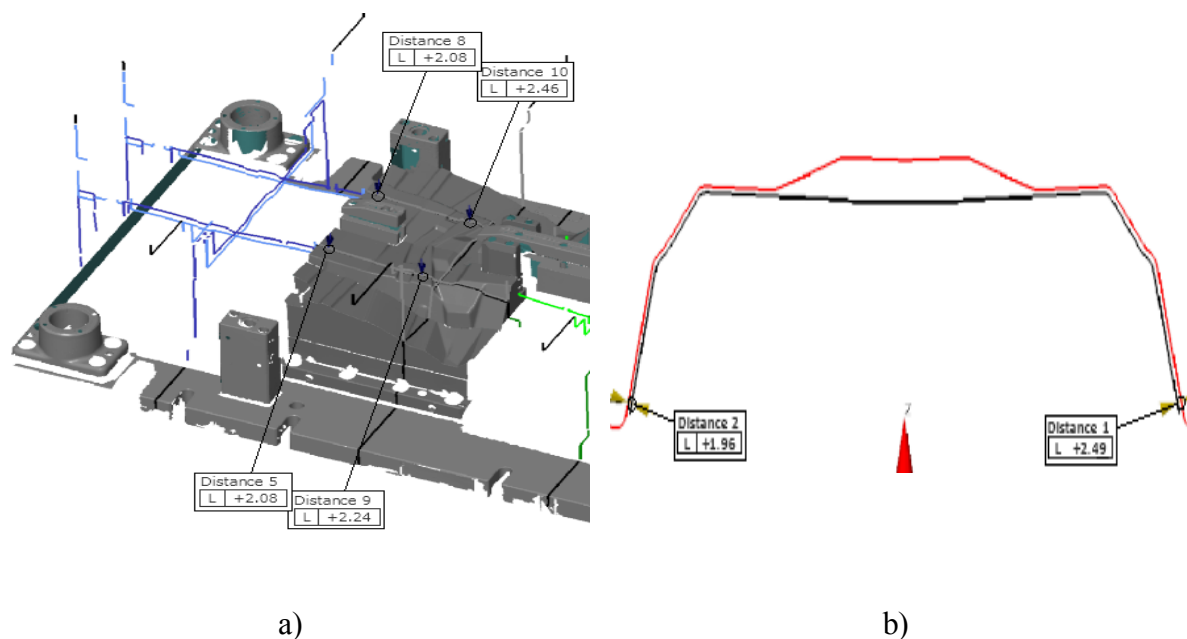


Obr. 5.7.2 Výsledek měření vůlí vodících prvků

### 5.5.3 Nerovnoměrná funkční mezera

Na výše uvedenou skutečnost navazuje další důležitá neshoda, která se projevuje ve vztahu ke kvalitě prolisování, stabilitě procesu lisování samotného výlisku a souvisí se zajištěním rovnoměrné funkční mezery mezi páry tvarových ohybnic vůči střední rovině symetrie v osách X a Y. Vstupní materiál v podobě předlisovaného plechu z předchozí operace je sevřen mezi spodní a horní tvarovou plochu ohybnic na jmenovitou výšku dle hlavních dorazů. Jestliže není zaručena konstantní mezera mezi těmito díly v celém funkčním rozsahu, optimálně volena v závislosti na tloušťce vstupního materiálu, a je-li navíc uvažováno o vůlích na hlavních vodících prvcích, je velmi pravděpodobné, že tento fakt velice úzce souvisí s kvalitou vyráběného dílu. V tomto smyslu byla provedena analýza hlavní tvářecí sekce 2, kde byly vyhodnoceny výsledky velikostí mezer pomocí řezu podélného a příčného. Jmenovitá tloušťka zpracovávaného plechu dle výkresové dokumentace dílu byla  $2 \pm 0,04 \text{ mm}$ . Tolerance označených ploch dílu dle CAD dat byla  $\pm 0,2 \text{ mm}$ . Největší naměřená odchylka v podélném řezu byla naměřena v rozsahu od  $0,08 \text{ mm}$  do  $0,46 \text{ mm}$ . V příčném řezu tomu bylo v rozsahu od  $-0,04 \text{ mm}$  do  $0,49 \text{ mm}$  (obr.5.5.3). Z tohoto výsledku vyplývá, že kvalitativně výlisk nemůže být prohlášen za shodný vlivem nedodržení výrobní tolerance na označených plochách.

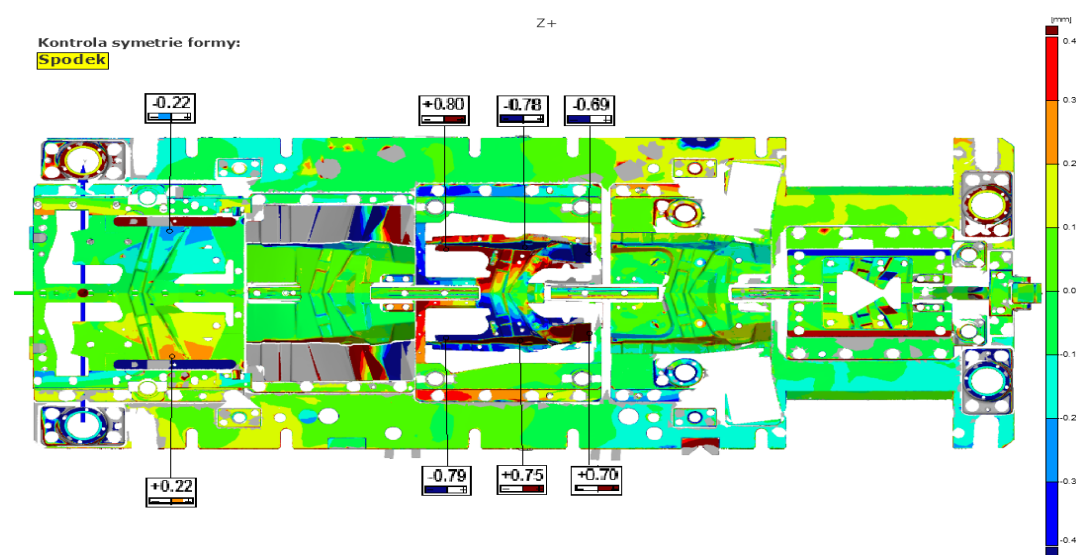




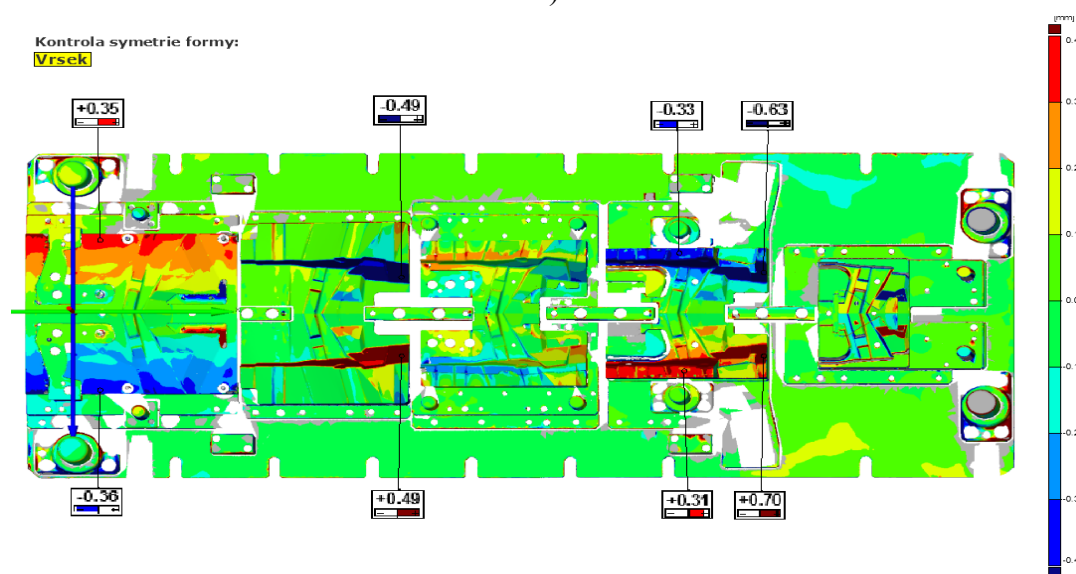
Obr. 5.5.3 Výsledek měření funkční mezery v sekci 2  
(a – naměřené odchylky v podélném řezu , b – naměřené odchylky v příčném řezu )

### 5.5.4 Kontrola symetrie tvarových ploch

Na základě předpokladu, že oba výlisky jsou zrcadlově symetricky shodnými díly lze předpokládat, že i jednotlivé párové díly nástroje budou tvarově shodné vůči podélné rovině symetrie. V tomto vědomí probíhala i další kontrola stavu nástroje a to kontrola symetrie tvarových ploch nástroje. Pomocí SW ATOS II byla provedena analýza porovnáním rozdílů proložených tvarových ploch zrcadlově symetrických dílů nástroje na základě zhotovených snímků ze skeneru. Úvaha v tomto smyslu předpokládala tvarovou shodu symetrických dílů, výsledek změřené neshody byl v rozsahu od 0,22mm do 0,90mm (obr.5.5.4). Analýza byla zpracována v rozsahu obou hlavních podsestav nástroje. Z výsledku analýzy lze usuzovat závěr, že vyráběný díl 1Z5 833 327 není zrcadlovým obrazem dílu 1Z5 833 328 tak, jak předpokládá výkresová dokumentace.



a)



b)

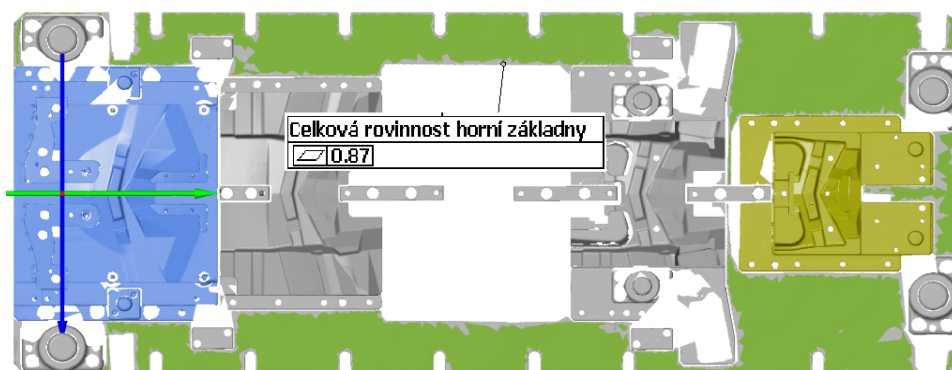
Obr. 5.5.4 Výsledek kontroly symetrie tvarových ploch  
(a – spodní část nástroje , b – horní část nástroje )

### 5.5.5 Deformace ohybem hlavního rámu

Kontrola rovinnosti obou hlavních podsestav nástroje měla potvrdit úvahu o stabilním chování této koncepce nástroje. Tuhost rámu je jeden ze základních předpokladů stabilního výrobního procesu dílu. Naměřené hodnoty rovinnosti pořízené ze skenů obou kompletních podsestav nástroje nabyly hodnoty 1.24mm u spodní části a 0,87mm na horní části nástroje (obr.5.5.5).



a)

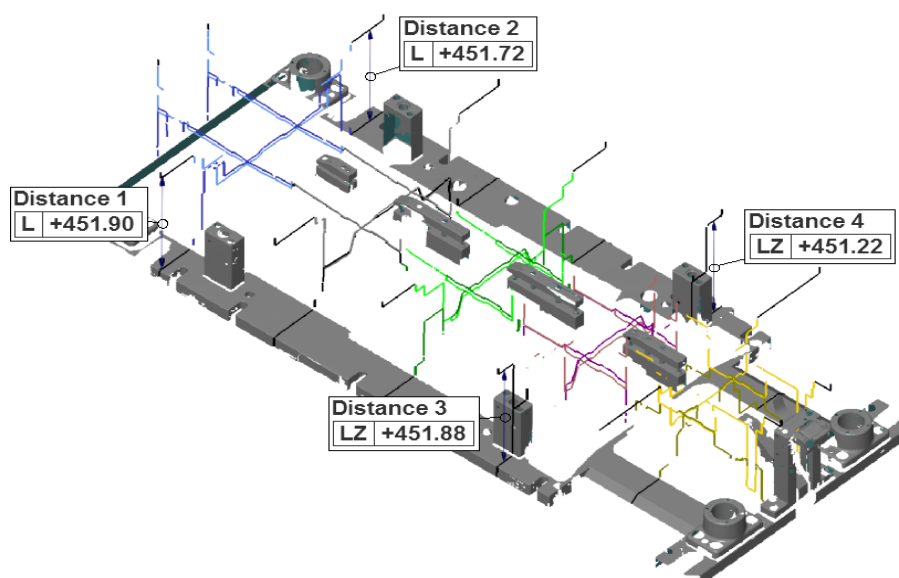


b)

Obr. 5.5.5 Výsledek měření rovinnosti základního rámu nástroje  
(a – spodní část rámu , b – horní část rámu )

### 5.5.6 Nejednotná výška hlavních dorazů

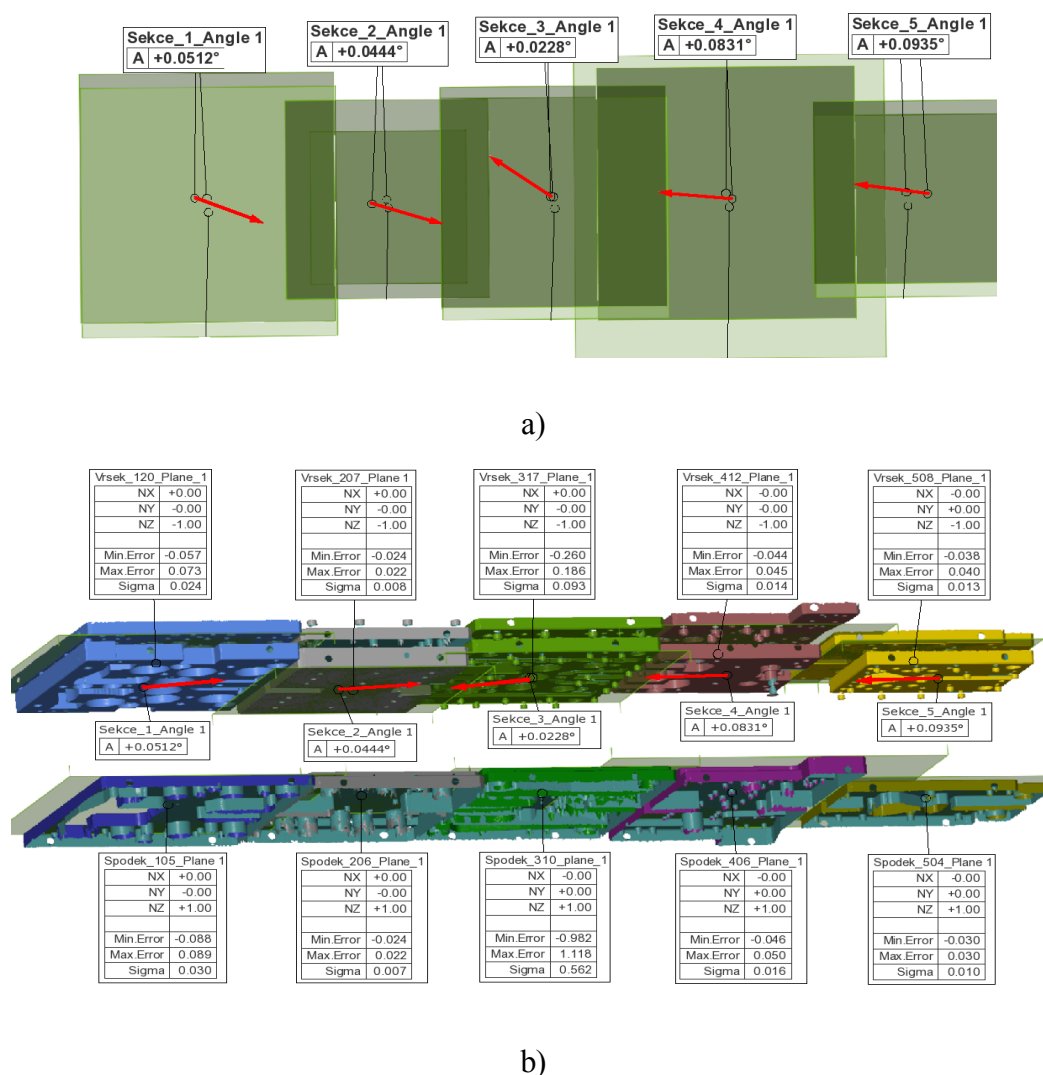
Při seřizování nástroje v rámci výrobního procesu, obsluha lisu nebo seřizovač dodržuje stanovený technologický postup, v němž technolog uvádí jako jeden z mnoha pokynů ustavit nástroj na hlavní dorazy jako výchozí hodnotu pro správně nastavený proces operace lisování. V SW ATOS bylo provedeno sestavení obou částí nástroje, tedy spodní a horní, následně byla provedena optimalizace ustavení těchto částí na společné základy a ve vzdálenosti obou částí o sebe na hodnotu tloušťky zpracovávaného materiálu, tedy 2mm. Takto vzájemně ustavená sestava nástroje byla podkladem pro kontrolu výšky hlavních dorazů. Důležitým předpokladem byla úvaha, že všechny naměřené výšky musí nabídnout shodný výsledek tak, aby se zatěžující síla rovnoměrně rozkládala po celém rámu nástroje rovnoměrně. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny v rozsahu hodnot od 451,22mm do 451,90mm. Z výsledku vyplývá, že ani tento parametr nebyl splněn (obr.5.5.6).



Obr. 5.5.6 Výsledek měření výšek hlavních dorazů

### 5.5.7 Kontrola polohy a uspořádání

Tato analýza spočívala v tom, že bylo provedeno vyrovnaní jednotlivých spodních sekcí nástroje do vodorovné polohy za předpokladu, že byl zachován stejný systém ustavení obou hlavních částí nástroje jako při předchozích měření. Následovala měření prostorového úhlu, resp. směru natočení horních sekcí vůči párovým sekcím spodní části nástroje. V úvaze nad touto analýzou bylo dosaženo závěru, že v ideálním případě by se neměl projevit žádný prostorový úhel a pokud ano, mělo by se jednat o úhel o stejné velikosti a směru. Výsledky měření ukázaly naprostý opak oproti úvaze, hodnoty úhlového natočení se pohybovali v rozsahu hodnot od  $0.0228^\circ$  do  $0.0935^\circ$ . Samotný směr natočení nebyl prohlášen na základě grafické prezentace za jednotný, je zde patrné prohnutí jednotek v konvexním smyslu. Tato analýza prokázala nerovnoměrné zatížení působící na polotovar výlisku v každé sekci v jiném rozsahu a smyslu. Tento parametr byl shledán jako jedna z dalších neshod vedoucích k závěru o nezpůsobilosti nasazení nástroje MW 20078 v rámci výrobního procesu.



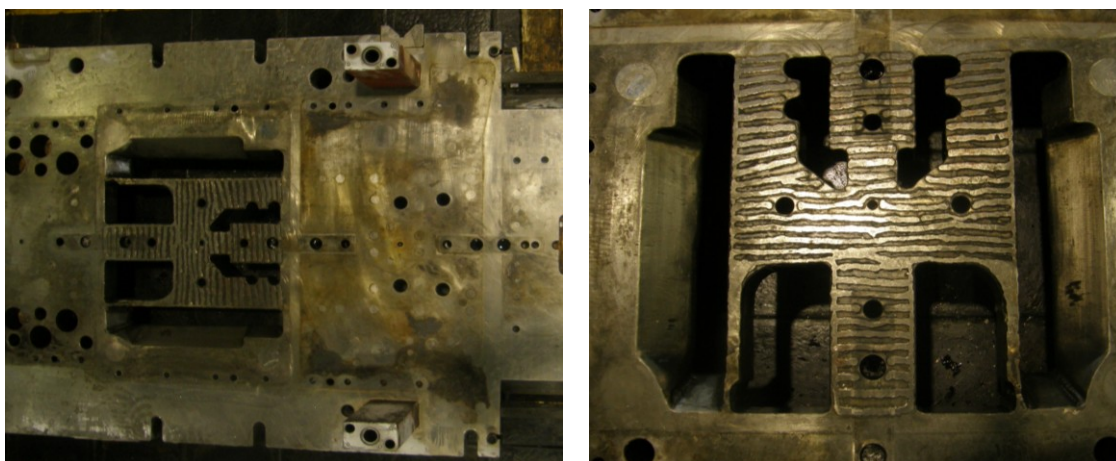
Obr. 5.5.7 Výsledek kontroly geometrické orientace jednotlivých sekcí

(a – rovinná prezentace úhlového natočení sekcí , b – prostorová prezentace úhlového natočení sekcí )

### 5.5.8 Nevhodné koncepční uspořádání

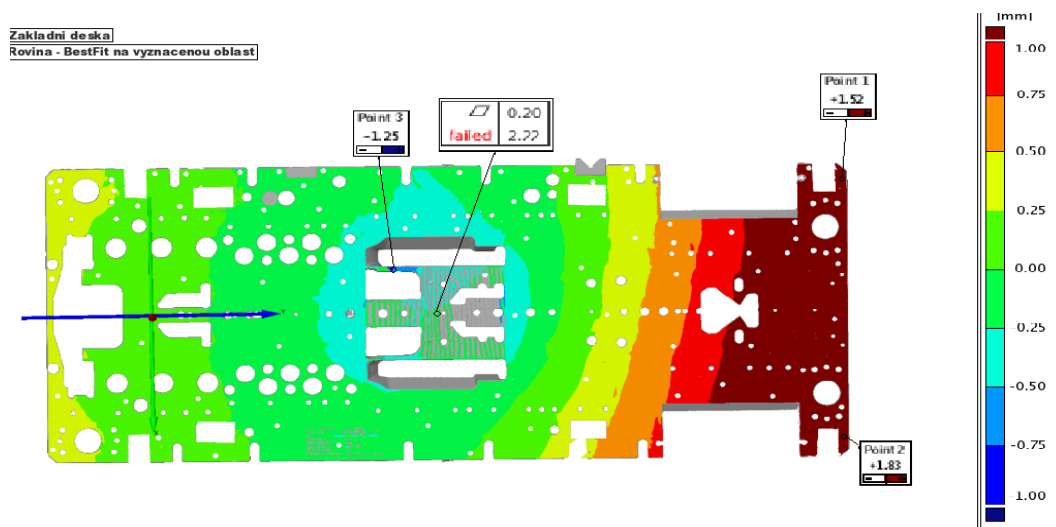
S konstrukčního pohledu je celková koncepce nástroje považována za dobrou, nicméně je zde patrné několik zásadních skutečností, které rozhodly o celkovém stavu nástroje s ohledem na jeho provozuschopnost a životnost. Jednoznačně lze hovořit především o poddimenzování tuhosti základního rámu, hlavně pak spodní základové desky. Jelikož tato deska je vystavována velikému zatížení odpovídající provozní síle lisu a to především v oblasti střední podélné roviny, neboť v této oblasti deska není

položena na stole lisu, dochází touto silou k cyklickému nadměrnému namáhání ohybem v periodách dle taktu lisu. Uprostřed základní desky stolu lisu se nachází otvor určený pro odvod plechového odpadu. Sekce 3 je jednotka v níž se provádí operace obvodového stříhu. V tomto místě není možno nástroj opřít popř. podepřít ze spodní roviny základní desky stolu lisu. Po celkové demontáži všech dílů sestavy nástroje bylo vizuálně odhalen ruční zásah v podobě navaření housenek technologií 111 a rovinným broušením do původní plochy základové desky (obr.5.5.8a). Pravděpodobnou příčinou tohoto zásahu bylo prohnutí oblasti pod sekci 3 značně tvarovými otvory odlehčené základové desky. Vyhodnocením pomocí SW ATOS II byla zjištěna rovinnost základové desky v hodnotě 2,77mm včetně renovované oblasti (obr.5.5.8b). Dle tohoto výsledku lze usuzovat, že i po samotné renovaci dále dochází během produkčního zatížení nástroje k deformaci ohybem. Tato situace vedla až k samotnému prasknutí spojovacích žeber v kriticky zeslabených průřezech, které byly opraveny svařením (obr.5.5.8c).



a)

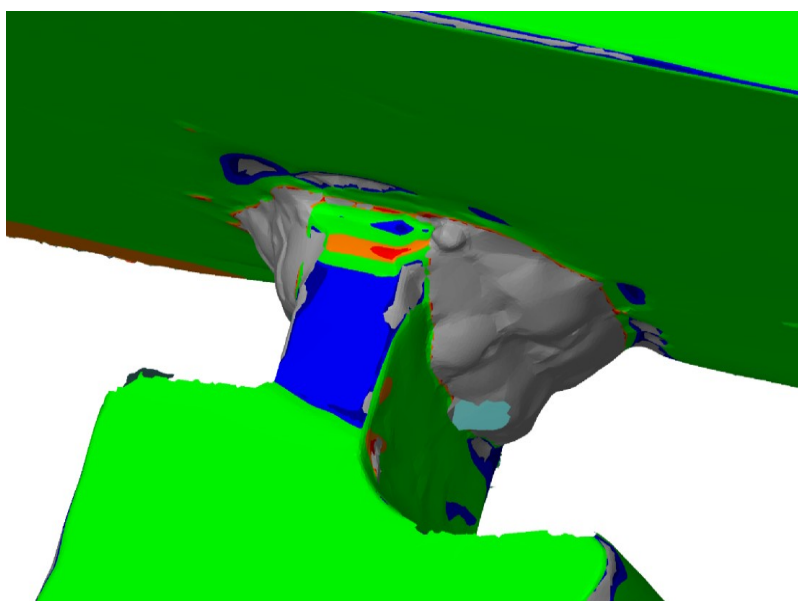




b)

Obr. 5.5.8 Odhalená neshoda na spodní základové desce nástroje MW 20078

(a – oblast svařování renovované spodní základové desky , b – výsledek měření rovinnosti spodní základové desky )



Obr. 5.5.8c Ukázka pořízeného skenu se zaměřením na místo renovovaného spojovacího žebra svařením

### **5.5.9 Neexistence konstrukční dokumentace**

Skutečnost, že není dostupná konstrukční ani CAD výrobní dokumentace znamená, že pro renovaci náradí, tzn. výroby nových dílů při zachování stávajícího stavu opotřebení tvarových ploch a funkčních vazeb, se musí přistoupit k rekonstrukci nástroje reverzním inženýrstvím na základě digitalizace. V tomto konkrétním případě se jednalo o nasazení platformy ATOS II a SW Tebis. Vzniklá CAD výrobní dokumentace bude podkladem pro zhotovení CAM programů pro obrábění na CNC strojích. V průběhu rekonstrukce skenovaných objektů bylo nutno velmi často improvizovat ve smyslu simplifikace skutečného stavu do podoby korektních CAD podkladů určených pro další použití. Příkladem těchto lokálních neshod bylo opotřebení ploch, oprava dílů svařováním i samotné místní deformace a poškození. Tyto neshody se úmyslně nerekonstruovaly, viz. příloha A5.1.



## 6 Diskuze nad výsledky

S ohledem na výsledky výše uvedených neshod je patrný závěr, že docílit bezpečného chodu výrobního nářadí, nástroje MW 20078, a stabilního výrobního procesu resp. shodných dílů 1Z5 833 327/328 je prakticky nemožné. Z výše uvedeného lze usuzovat závěr, že současný stav postupového nástroje MW 20078 odpovídá běžnému produkčnímu opotřebení ve smyslu vyrobené dávky za celé produkční období. Jelikož není znám původ tohoto nářadí, bylo uvažováno o množství kolem jednoho milionu párů obou dílů.

Všechny shledané neshody vyžadují pozornost a renovace nástroje by měla neshody odstranit v celém rozsahu. Po vzájemné dohodě bylo firmou Klein & Blažek, s. r. o. nabídnuta zákazníkovi celková renovace nástroje s ohledem na shledané neshody. Zákazník se po interních jednání rozhodl, že bude realizována pouze částečná renovace nástroje v rozsahu výroby nových dílů jako náhrady za deformované díly odhalené kapilární zkouškou metodou barevné indikace (kap.5.5.1.). V tomto smyslu byla zákazníkem zaslána objednávka na výrobu dílů v odsouhlaseném rozsahu ve výši 570.000,-Kč (viz. příloha A6.1 – objednávka). Tomuto kroku předcházela CAQ analýza výlisku 1Z5 833 327/328 pro určení kvalitativní neshody ve výši 16.000,-Kč (viz. příloha A6.2 – cenová nabídka). Výrobní možnosti firmy Klein & Blažek, s. r. o. v oblasti CAM neumožňují obrábět přímo rekonstruované tvarové plochy ani nativní formát STL z digitálního skeneru, tudíž vznikly vícenáklady s vyhotovením kompletní CAD dokumentace pro CNC obráběcí stroje včetně konstrukčních podkladů. Vícenáklady představovaly celkem 52 konstrukčních hodin, finančně vyjádřeno ve výši 72.800,-Kč. Zhotovení kompletní dokumentace nástroje MW 20078 pro potřeby firmy Klein & Blažek, s. r. o. dosáhly částky 668.800,-Kč.

V této kapitole je zhodnocen ekonomický přínos platformy ATOS II a SW Tebis pro firmu Klein & Blažek, s. r. o., jeho využití bylo hodnoceno v rámci rekonstrukce výrobního nářadí realizovaného v průběhu roku 2010 a v návaznosti na potřeby firmy Klein & Blažek, s. r. o. v uvažovaném rozšíření oddělení nástrojárny, kde byly sledovány všechny operace se systémem ATOS II.

## 6.1 Konstrukční řešení

Z konstrukčního hlediska se zde nabízí řešení v podobě rozdělení obvodových stříhů dílu ze sekce 3 do více sekcí nástroje nebo přidáním další nové sekce s efektem odstranění kritických průřezů spojovacích žebírek odpadových otvorů. Samotná žebra vyztužit proti deformaci, resp. zmenšením rozměrů odpadových otvorů ve spodní základové desce nástroje. Další možné řešení vedoucí ke stabilitě spodní základové desky by bylo využít poměrně stabilních rozměrově naddimenzovaných bloků jednotlivých sekcí a vzájemně tyto sekce o sebe opřít s vymezením současně zhotovených nefunkčních mezer. Vytvořil by se pomyslně jakýsi monoblok s větším průřezem ve vertikálním směru proti působení účinku lisovací síly. Na základě tohoto předpokladu se nabízí řešení nahradit současnou spodní desku základnou o větším průřezu z vhodnějšího materiálu odolávajícímu tomuto typu namáhání a to odlitky z šedé litiny. Pozornost je potřeba věnovat také počtu a velikosti vodících prvků, u takto rozměrově velkého nástroje je vhodné použít kluzné vodící stanice, které jsou ve výrobních programech většiny renomovaných dodavatelů normální lisovacích nástrojů. Je nutné brát v úvahu skutečnost, že všechny tyto konstrukční návrhy jsou řešením, které lze prakticky uvažovat v případě zhotovení nástroje nového. Realizovat tyto návrhy řešení do současného nástroje by bylo značně ekonomicky nerentabilní s ohledem na výši vzniklých nákladů.

## 6.2 Přínosy ATOS II a SW Tebis ve firmě Klein & Blažek, s. r. o.

Přínosy byly sledovány ve všech oblastech, kde lze CAQ platformu využít:

- ÚŘJ: měření a vyhodnocení kvality výrobní produkce, kontrolní přípravy
- konstrukce: nové nářadí
- nástrojárna: opravy nářadí, digitalizace dat pro obrábění

### Přínosy v kontrolní činnosti oddělení ÚŘJ

Na základě podkladů z bakalářské práce, autor Haas, R. *Bezkontaktní měření složitých tvarů*, 6/2009, byl jednoznačně shledán přínos ve všech sledovaných ukazatelích. Jednalo se o parametr spotřeby času v závislosti na daném typu měření. Těmito ukazateli byly vstupní, resp. základní měření kvality vyráběného dílu,

periodické měření kvality, měření spotřeby času na přípravu měřicího zařízení, vytvoření měřicího programu pro měřicí zařízení a náklady na zhotovení kontrolních přípravků. Byly vybrány dva zástupci reprezentující výrobní program společnosti, přičemž byly aplikovány dvě metody měření, tj. kontaktní (Zeiss Prismo 7) a bezkontaktní (ATOS II). Přínos ATOS II v rychlosti zpracování výsledků měření kvality obou dílů je značný. Při průměrné ceně 1000 Kč za pracovní hodinu operátora měřicího zařízení představovaly vyčíslené úspory až 96%. V případě opakovaného měření podle programu pro potřebu uvolnění výroby (referenční vzorek) nebo periodickou kontrolu kvality dle kontrolního postupu byly úspory vyčísleny ve výši 30%. Úspory na zhotovení kontrolního programu pro měřicí zařízení jsou takřka absolutní, neboť skener ATOS II z pohledu koncepce měření nevyžaduje tento prostředek avšak příprava pro samotné měření objektu hovoří v neprospěch ATOS II v nákladech asi 60%. S ohledem na okamžitou reakci v podobě celkového času pro měření dílu a prezentaci výsledků měření v podobě barevné mapy s hodnotami odchylek je zařízení ATOS II vhodnou náhradou kontrolních přípravků. Kontrolní přípravky představují poměrně podstatnou část celkových nákladů v rámci projektu dílu, proto kalkulovaná úspora je vysoká. V případě obou dílů byla úspora stanovena jako rozdíl pořizovacích nákladů za kontrolní přípravky vůči nákladům spojených s periodickým měřením zařízením ATOS II. Úspory dosahovaly několik desítek tisíc korun.

### **Přínosy v konstrukční činnosti**

V oddělení konstrukce je vhodné využívat zařízení ATOS II se SW Tebis zejména ve fázi, kdy se výrobní nářadí nachází těsně před dokončením a předáním do trvalého provozu. V této fázi je důležité provést poslední korekce nářadí tak, aby výsledkem byl shodný díl dle dokumentace zákazníka. Snahou oddělení konstrukce je minimalizovat počet jednotlivých optimalizací v rámci úprav nářadí. Důležitým předpokladem je provést úpravu nářadí na reálných podkladech v podobě získaného výsledku a optimalizaci dokončit v co nejkratším čase. Hlavním důvodem takto vysokého počtu zkoušek je fakt, že nebylo možné provést korektní měření kvality vyrobeného dílu a vyhodnotit výsledek jednotlivých kroků v rámci procesu tváření dílu do finální podoby. Za předpokladu, že pomocí zařízení ATOS II dojde k vyhodnocení výsledku zkoušky o 90% rychleji, usuzuji snížení celkových nákladů o 40% a zkrácení doby procesu optimalizace o 30%.

**Přínosy pro oddělení nástrojárny**

Výrobní kapacity v produkci nových projektů nářadí jsou omezené s pohledu velikosti rozpracovanosti, velikosti a hmotnosti nářadí, termínu vyhotovení, strojního vybavení, zvolené technologie výroby. Do těchto kapacit vstupují opravy nářadí, které jsou neoddelitelnou součástí produkční výroby. Při kontrole výrobní dokumentace vůči skutečnému vyrobenému stavu nářadí bývá často shledán rozpor, mezi skutečným stavem nářadí a jeho výrobní dokumentací, který znamenal, že tato dokumentace nebyla aktualizována již během výroby, zkoušení nebo při odstraňování provozních kolizí. V těchto případech je možné spatřit přínos ATOS II a SW Tebis především v kontrole aktuálního stavu výrobní dokumentace vůči fyzickému stavu nářadí. Skutečnost, že neshodu je možné zjistit okamžitě v rámci předávání nářadí a ne až v procesu pozdější výroby na tomto nářadí se často projeví především v neplnění plánovaného objemu výroby. Zajištění okamžité nápravy v podobě opravy nářadí je mnohem nákladnější než plánovaná údržba v podobě náhradních dílů nástroje a často spadá do nákladů provozovatele nářadí. Okamžitá kontrola stavu nářadí při předávání může upozornit na neshody a následně stanovit náklady spojené s odstraněním neshod, které je možno uplatnit při reklamačním řízení v rámci platných smluv. Úspory je možné vyjádřit jen přibližně, odpovídají konkrétnímu případu. Obecně je možné odvodit velikost těchto úspor ve výši 25-30% na základě získaných zkušeností při realizaci podobných projektů nářadí, které byly v minulosti takto realizovány.

Spodní část nástroje ohybové sekce 3 byla měřena na 3D souřadnicovém stroji Zeiss Prismo 7. Poměrným vynásobením doby měření jedné sekce nástroje s celkovým počtem sekcí nástroje by doba strávená měřením dosáhla 22 pracovních dnů. S ohledem na tuto skutečnost byl celý proces měření na Zeiss Prismo 7 zastaven. Při průměrné ceně 1000 Kč za pracovní hodinu operátora Zeiss Prismo 7 násobeno 165 hodinami měření by vyčíslená hodnota činila 165 000 Kč. Úspora nákladů v rámci měření kvality nářadí kalkulovaná vůči cenové nabídce fy. MCAE Systems (viz příloha A6.3) činí 65 000 Kč. Nejmarkantnější úspora je na straně času, resp. doby strávené operátorem při vlastním měření. Úspora by činila 17 pracovních dní, což představuje výrazné zkrácení termínu celého projektu v rámci měření.

Na základě použité CAQ platformy byla provedena digitalizace tvářecího postupového nástroje (viz příloha A6.4 – cenová nabídka).

## 7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Ekonomický přínos ATOS II a SW Tebis pro firmu Klein & Blažek, s. r. o. je jednoznačný. Bylo provedeno několik rozvah, které uvažovaly o zhodnocení vynaložené investice uvažované platformy v rámci rekonstrukce nástroje MW 20078. Z tabulky 7.1 je patrné, že zpětné vyhotovení dokumentace na základě použité platformy představovalo částku bezmála 700 tisíc korun. Posouzením výše vynaložené investice za pořízení optického 3D měřicího zařízení ATOS II a SW Tebis vůči nákladům za zpětné vyhotovení dokumentace se prokázala návratnost v rámci pěti rozsahem zpracování podobných projektů. Jde tedy zhruba o 20% podíl nákladů z celkové investice, viz. tab. 7.2. S ohledem na skutečnost, že firma Klein & Blažek, s. r. o. realizovala během období roku 2008 – 2010 čtyři rozsahem zpracování podobné projekty a dále několik CAQ analýz dílů z výrobní produkce v celkových nákladech bezmála dvou milionů korun, lze uvažovat o návratnosti vynaložené investice ve velmi rychlém časovém intervalu, předpokládám 20 až 24 měsíců.

Tabulka 7.1 Zpětné vytvoření dokumentace nástroje MW 20078

Zpětné vytvoření dokumentace nástroje MW 20078			
Operace	Hodinová sazba [Kč/hod.]	Doba trvání [hod.]	Celkem [Kč]
Demontáž / montáž	400	32	12800
Příprava objektu před měřením	-----	21	-----
3D optická digitalizace	-----	51	-----
Analýza odchylek	-----	6	-----
Rekonstrukce ploch	-----	198	-----
Prezentace výsledků	-----	8	-----
Cestovní výlohy	-----	-----	-----
<b>DIG 20100106/2</b>	-----	-----	596000
Vytvoření CAD dat pro CNC	1400	52	72800
<b>Celkem [Kč]</b>			<b>681600</b>

Tabulka 7.2 Celkové investiční náklady použité platformy

Porovnání ekonomických parametrů	
Nabídka 100208/01 – MD na CAD systém Tebis – 3D modelování ploch a Reverse Engineering	630720
Nabídka 080326/01 – Nabídka optického měřicího zařízení ATOS II XL + pronájem ½ roku SW SW Tebis	2643300
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>3274020</b>

Další ekonomický pohled je směřován na efektivní posouzení vynaložených nákladů na zpětné zhotovení CAD dokumentace vůči teoreticky vynaloženým nákladům na nástroj nový. Tato analýza se zakládala na úvaze, jakým nejvhodnějším způsobem zhodnotit vynaložené prostředky a jaký přínos v rámci této investice se dostaví. Jednoznačně zde vyplynulo, že zpětně zhotovená dokumentace zaujímá více než 30% podíl z ceny nového nástroje, nicméně odhalené neshody při kontrole stavu nástroje viz. kap.5.5.1 - 5.5.7 a spíše pak konstrukční řešení, které byly předloženy v kap.5.5.8 vedou k závěru, přiklonit se k řešení v podobě výroby nástroje nového, viz. tab. 7.3.

Tabulka 7.3 Zpětné vytvoření dokumentace nástroje MW 20078

Zhotovení nového nástroje pro díly Výztuha závěsu horní 1Z5 833 327/328			
Operace	Hodinová sazba [Kč/hod.]	Doba trvání [hod.]	Celkem [Kč]
Konstrukce	1400	165	231000
Výroba	850	980	833000
Materiál	-----	-----	320000
Normálie, spojovací prvky	-----	-----	142000
Montáž	400	160	64000
„Odladění“ nástroje	-----	70	58000
Krycí příspěvek -15% z celkové ceny nástroje	-----	-----	247200
<b>Celkem [Kč]</b>			<b>1895200</b>

V tomto smyslu je vhodné si také všimnout porovnání celkových nákladů na renovaci stávajícího nástroje vůči nákladům na zhotovení nástroje nového. Celková vynaložená investice do opravy stávajícího nástroje se zákazníkovi projeví jako 70% podíl investice případně do teoreticky nástroje nového, viz. tab. 7.4. Nutno podotknout, že vyšší kvalitativní úroveň nástroje stávajícího se nedostaví.

Tabulka 7.4 Celkové náklady na opravu nástroje MW 20078

<b>Oprava stávajícího nástroje pro díly Výztuha závěsu horní 1Z5 833 327/328</b>			
<b>Operace</b>	<b>Hodinová sazba [Kč/hod.]</b>	<b>Doba trvání [hod.]</b>	<b>Celkem [Kč]</b>
Reverse Engineering a 3D optická digitalizace	-----	368	668800
Výroba náhradních dílů dle objednávky č. 039 ze dne 22.4.2010	850	652	570000
Demontáž / montáž	400	40	16000
<b>Celkem [Kč]</b>			<b>1254800</b>

Poslední dílčí ekonomická úvaha je věnována situaci, kdy v případě, že firma Klein & Blažek, s. r. o. se rozhodne celou investici v podobě pořízení platformy rozdělit na dvě části, tj. zakoupení optického systému ATOS II a posléze SW Tebis, výkoného nástroje v oblasti Reverse Engineering. V případě pořízení systému ATOS II byla návratnost vynaložené investice prokázána v dokumentu Haas, R. *Bezkontaktní měření složitých tvarů: bakalářské práce, 6/2009*. Co se týče pořízení SW Tebis, byl prokázán ekonomický přínos v rámci tohoto konkrétního projektu ve výši takřka 60% podílu z výše nákladů na zhotovení rekonstrukce tvarových ploch, viz. tab. 7.5. To znamená, že návratnost této vynaložené investice se dostaví během dvou podobě rozsáhlých projektů v časovém horizontu jednoho kalendářního roku.

Tabulka 7.5 Ekonomická rozvaha nad investicí do SW Tebis

Porovnání ekonomických parametrů	
Nabídka 100208/01 – MD na CAD systém Tebis – 3D modelování ploch a Reverse Engineering	630720
Rekonstrukce ploch nástroje dle nabídky DIG 20100106/2	360000
<b>Rozdíl v [Kč]</b>	<b>270720</b>

Nutno podotknout, že zde byly započítány pouze přímo prokazatelné přínosy firmě Klein & Blažek, s. r. o. Není zde uveden teoretický přínos firmě Klein & Blažek, s. r. o. s ohledem na náklady spojené s kontrolou aktuálnosti dokumentací vůči fyzickému vyhotovení nářadí, kontrola kvality vyráběných dílů a faktor minimalizace počtu jednotlivých optimalizací v rámci úprav nářadí (kap.4.6 – 4.7 Přínos ATOS II v oddělení nástrojárny). Náklady spojené s investicí do zařízení ATOS II a SW Tebis (bez rozšiřujících obcí) jsou podloženy cenovou nabídkou (viz příloha A7.1 a A7.2) v aktuálním kurzu 24,70 Kč/Eur.

V období roku 2006-2011 bylo ve spolupráci s firmou MCAE systems s.r.o., Kuřim realizováno několik projektů, které byly zdrojem podkladů pro zhotovení této diplomové práce. Všechny tyto projekty byly řešeny v rámci služeb zpracovaných výhradně systémem ATOS II a SW Tebis.



## 8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo poskytnout koncepční řešení v rámci jednotné metodiky měření výrobního nářadí a zajišťování komplexních 3D analýz v podobě plné digitalizace a následného procesu Reverse Engineering v tomto strojírenském segmentu. Práce byla vyhotovena v podmínkách firmy Klein & Blažek, s. r. o. Metodika digitalizace je již v dnešní době velmi propracovaná a poskytuje značné možnosti parametrizace měřených modelů jednotlivých částí výrobního nářadí, kompletního nástroje, ale i výrobního zařízení nebo dokonce celého výrobního provozu.

Přestože je škála možností velmi široká, stále se jedná o matematický model, který je značně závislý na dosazených vstupních hodnotách. Z tohoto důvodu dochází ke snaze optimalizace tvorby co nejlépe použitelného trojdimenzionálního modelu pro použití v oblasti strojní výroby, zejména však v automobilovém průmyslu. Snahou je vytvořit model postačující pro dostatečně přesný výpočet s ohledem na rychlost převedení reálného modelu do jeho 3D podoby. Toto řešení by mělo vzájemně spojit chod jednotlivých procesů v rámci oddělení vývoje, konstrukce, nástrojárny, výroby a oddělení kvality v jeden systémový prvek. Z pohledu oddělení konstrukce a nástrojárny je hledaný přínos v rámci CAE systému ATOS II se SW Tebis soustředěn na snížení nákladů v rámci optimalizace nářadí, kontroly aktuálnosti mezi CAD dokumentací a skutečným stavem vyrobeného nářadí a na problematiku digitalizace stávajícího nářadí. Dále jsou zde popsána jednotlivá provedená měření s následným vyhodnocením výsledků. Z dosažených výsledků diplomové práce „Návrh optického měření tvářecích nástrojů“ lze usuzovat tyto závěry:

- Hlavním přínosem pro zkrácení času potřebného pro skenování je optimalizace vstupujících parametrů, které je nutno nastavit před samotným skenováním.
- Návrh lisovacích ploch, jejich obrobení a následná potřeba zanesení zpětných úprav CAD modelů v procesu ladění nástroje přináší systém ATOS II největší přínos a stejně tak i v metodách Reverse Engineering, jenž skýtá možnosti získat konstrukční data z hotového dílu (výrobku nebo nářadí), počítačově rekonstruovat opotřeбенé plochy nebo provést zpětné korekce tvářecích postupů podle prvního výlisku.

- Kvalita optimalizace je pak posuzována podle počtu rozpoznaných bodů na objektu. Vyšší počet takto rozpoznaných bodů urychluje proces vytváření modelu.
- Jedná se o produktivní metodu měření dílů a vyhodnocením definovaného spektra odchylek v rozsahu celé geometrie. U velkých a složitých geometrických celků ( měřeným objektem byl kombinovaný nástroj ) se v tomto smyslu jedná o jediný možný způsob kontroly kvality.
- Výstupy z digitalizace mohou být exportovány do systému Tebis, SW pro Reverse Engineering, kde jsou nástroje pro rychlou rekonstrukci do podoby 3D modelů.
- Hlavním problémem při tvorbě modelu je časová náročnost digitalizačního procesu, jež je zapříčiněna složitou přípravou objektu před započetím skenování i dobou vlastního snímání.
- Dalším faktorem prodlužujícím skenování je určení vhodných velikostí daných značek umístěvaných na objekt. K částečné ztrátě kvality dojde v blízkosti hran a různých tvarových přechodů.
- Ekonomický rozbor prokázal, že návratnost vynaložené investice do nákupu celé CAQ platformy je přibližně dva roky. Celou investici lze vhodným způsobem rozdělit do dvou navazujících kroků tak, aby tato investice negativním způsobem nezatížila cash-flow firmy. V prvním sledu by se jednalo o pořízení HW ATOS II, měřicí základny, v druhém sledu, nákup SW Tebis, nástroje pro oblast Reverse Engineering. Tato kalkulace byla vyhotovena na základě konkrétního projektu v rozsahu měření vycházejícího ze složitosti měřeného objektu a z požadavků konstrukčního oddělení. Opatřené výsledky měření výrobního nářadí významnou měrou přispěly k zajištění plynulé výroby s výhledem do blízké budoucnosti. Do přínosů byly započítány pouze jasně prokazatelné položky (digitalizace a rekonstrukce dat, výroba náhradních dílů). Přínos v rámci činností v oddělení nástrojárny ve smyslu kontroly aktuálnosti CAD dokumentací vůči fyzickému stavu nářadí jsou bohužel nevyčíslitelné. Úspory a přínosy ve smyslu plnohodnotné náhrady za alternativní v současné době používaný měřicí systém nebyl předmětem této práce.

Na základě výsledků této diplomové práce je firmě Klein & Blažek, s. r. o. doporučen nákup optického 3D měřicího skeneru ATOS II XL a CAD/CAM systému Tebis

## Seznam použité literatury

- [1] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha : Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] ČSN ISO 5966 *Dokumentace. Formální úprava vědeckých a technických zpráv*. Praha: Český normalizační institut, leden 1996. 31 s.
- [3] ČSN ISO 7144 *Dokumentace. Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, březen 1997. 21 s.
- [4] ČSN ISO 31-0 *Veličiny a jednotky. Část 0: Všeobecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 1994. 24 s.
- [5] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [6] PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava : VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.
- [7] VÁRADY, T., MARTIN, R. R., COX, J. *Reverse Engineering of Geometric Models - An Introduction*. Computer-Aided Design. April 1997, Volume 29, Number 4, p. 255- 268. Dostupné z WWW: <<http://www.ingentaconnect.com/content/els/00104485/1997/00000029/00000004/art00054>>. ISSN 0010-4485
- [8] MLČOCH, L., SLIMÁK, I. *Řízení kvality a strojírenská metrologie: studijní odborná publikace*. Praha : SNTL ALFA, 1987. 325 s.
- [9] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie: studijní odborná publikace*: 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN: 80-248-0671-1 (brož.)
- [10] DVOŘÁK, R., CHMELÍK, V., MAREK, M. *Strojírenská metrologie: studijní odborná publikace*. Praha : ČVUT, 1992. 150 s.
- [11] NAVRÁTIL, Robert. *Reverse Engineering - trocha teorie* [online]. duben 2002 [cit.2010-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/index.html>>.

- [12] NAVRÁTIL, Robert. *Reverse Engineering v praxi* [online]. červen 2000 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/re-praxe/index.html>>.
- [13] BALÁŽ, T., ŘEHOŘ, Z. *Optické přístroje LSOZ: studijní odborná publikace*: 1. vydání Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1 (brož.)
- [14] BRADÁČ, F. *Metody optické kontroly a jejich aplikace v oblasti strojírenské výroby: zkrácená verze Ph.D.*: Brno: VŠB – Vysoké učení technické, 2003. ISBN: 80-214-2397-8 (brož.)
- [15] HANUŠ, V. *Systémy pro optické snímání a jejich aplikace: odborná publikace*. Praha: SNTL ALFA, 1976. Syst. číslo [000275649]
- [16] Katedra Konštruovania a Častí Strojov, Žilinská univerzita v Žiline. *Teoretický základ a princípy 3D scanovania* [online]. c2006 [cit. 2010-03-29]. Dostupné z WWW:<<http://fstroj.uniza.sk/web/kkcs/>>.
- [17] KADERÁBEK, P. *Automatizované měřicí systémy: studijní odborná publikace*: 1. vydání Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2003. ISBN: 80-7044-530-0 (brož.)
- [18] MCAE SYSTEMS S. R. O. – *3d digitalizace a měření* [online]. 2009. poslední aktualizace 14.1.2009. [citováno 2008-10-29].  
URL: <[http://www.mcae.cz/3d\\_digitalizace\\_a\\_mereni\\_CS.html](http://www.mcae.cz/3d_digitalizace_a_mereni_CS.html)>
- [19] Perceptron. *Reverse Engineering* [online]. c2010 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW:<<http://www.perceptron.com/index.php/en/applications/reverseengineerig.html>>.
- [20] GOM MBH – *Industrial 3D Measurement Techniques* [online]. 2009. poslední aktualizace 8.1.2009. [citováno 2008-11-13].  
URL:<<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.ii.html>>
- [21] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM – *Optický skener v průmyslové praxi* [online]. Vyšlo v MM 2008/6 [citováno 2008-11-20].  
URL: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/opticky-skener-v-prumyslove-praxi>>

- [22] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM – *Rychlé odladění lisovacího nástroje* [online].  
Vyšlo v MM 2005/10 [citováno 2008-11-20].  
URL: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/rychle-odladieni-lisovaciho-nastroje>
- [23] Creaform. *About Creaform 3D Engineering Services and 3D Laser Scanners* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.creaform3d.com/en/company/default.aspx>>.